CENTRO DE FORMAÇÃO PROFISSIONAL PEDRO MARTINS GUERRA

COMANDOS ELÉTRICOS

Itabira

2005

FIEMG
CIEMG
SESI
SENAI
IEL

Sistema FIEMG

Presidente da FIEMG
Robson Braga de Andrade

Gestor do SENAI

Petrônio Machado Zica

Diretor Regional do SENAI e

Superintendente de Conhecimento e Tecnologia

Alexandre Magno Leão dos Santos

Gerente de Educação e Tecnologia

Edmar Fernando de Alcântara

Unidade Operacional

Centro de Formação Profissional Nansen Araújo

Revisão

Equipe Técnica – Centro de Formação Profissional Pedro Martins Guerra
Itabira – MG / 2005

FIEMG
CIEMG
SESI
SENAI
IEL

Sistema FIEMG

Sumário

APRESENTAÇÃO **04**

1. CORRENTE ALTERNADA MONOFÁSICA E TRIFÁSICA **05**
1.1 Corrente Alternada e Tensão Monofásica **05**
1.2 Resistência em Corrente Alternada **06**
1.3 Corrente Alternada: Defasagem Entre Corrente e Tensão **07**
1.4 Circuito Série da CA **08**
1.5 Circuito Paralelo de CA **09**
1.6 Corrente Alternada e Tensão Trifásica **11**
1.7 Circuito Estrela ou Y **12**
1.8 Circuito Triângulo ou Δ **12**
1.9 Potência nos Circuitos de CA **13**

2. INTRODUÇÃO A COMPONENTES DE COMANDOS **16**
2.1 Contator **16**
2.1.1 Princípio de Funcionamento **16**
2.1.2 Classificação **19**
2.1.3 Vantagens **19**
2.1.4 Normas **20**
2.2 Dispositivos de Proteção **23**
2.2.1 Fusíveis **23**
2.2.2 Relés **29**
2.3 Sinalização **34**

3. SENSORES CAPACITIVOS E INDUTIVOS **38**
3.1 Sensores Indutivos **38**
3.2 Sensores Capacitivos **39**
3.3 Configuração Elétrica de Alimentação e Saídas dos Sensores **40**
3.4 Método de Ligação dos Sensores **42**

4. INTRODUÇÃO A MÁQUINAS ELÉTRICAS **45**
4.1 Classificação **45**
4.2 Gerador de Corrente Contínua **47**
4.3 Motor de Indução **49**
4.4 Identificação dos Motores **54**
4.5 Partida de Motores **56**
4.6 Potência de um Motor **57**

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS **58**

FIEMG
CIEMG
SESI
SENAI
IEL
Sistema FIEMG

Apresentação

"Muda a forma de trabalhar, agir, sentir, pensar na chamada sociedade do conhecimento".
Peter Drucker

O ingresso na sociedade da informação exige mudanças profundas em todos os perfis profissionais, especialmente naqueles diretamente envolvidos na produção, coleta, disseminação e uso da informação.

O **SENAI**, maior rede privada de educação profissional do país,sabe disso , e consciente do seu papel formativo , educa o trabalhador sob a égide do conceito da competência***: formar o profissional com responsabilidade no processo produtivo, com iniciativa na resolução de problemas, com conhecimentos técnicos aprofundados, flexibilidade e criatividade, empreendedorismo e consciência da necessidade de educação continuada.***"**

Vivemos numa sociedade da informação. O conhecimento , na sua área tecnológica, amplia-se e se multiplica a cada dia. Uma constante atualização se faz necessária. Para o **SENAI**, cuidar do seu acervo bibliográfico, da sua infovia, da conexão de suas escolas à rede mundial de informações – internet- é tão importante quanto zelar pela produção de material didático.

Isto porque, nos embates diários,instrutores e alunos , nas diversas oficinas e laboratórios do **SENAI**, fazem com que as informações, contidas nos materiais didáticos, tomem sentido e se concretizem em múltiplos conhecimentos.

O **SENAI** deseja , por meio dos diversos materiais didáticos, aguçar a sua curiosidade, responder às suas demandas de informações e construir *links* entre os diversos conhecimentos, tão importantes para sua formação continuada !

Gerência de Educação e Tecnologia

1. CORRENTE ALTERNADA MONOFÁSICA E TRIFÁSICA

1.1 CORRENTE ALTERNADA E TENSÃO MONOFÁSICA

A tensão e a corrente produzidas por fontes geradoras podem ser contínuas ou alternadas. A corrente é contínua quando circula no circuito num único sentido. Entretanto, se a corrente sai ora por um, ora por outro borne, na fonte geradora, circula ora num, ora noutro sentido, no circuito, é corrente alternada. A fonte geradora de corrente alternada chama-se **alternador**.

Se representássemos num gráfico os valores da corrente no eixo vertical e o tempo horizontal, obteríamos uma curva, como a da figura abaixo, para representação da variação da corrente alternada.

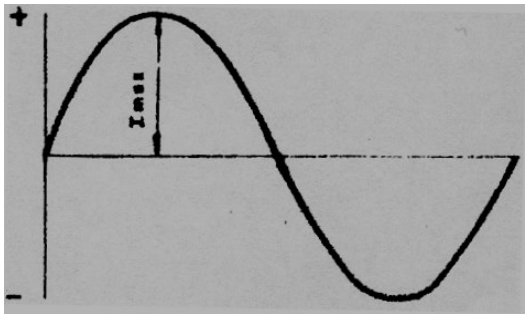


Figura 1.1 – Representação da variação da corrente alternada.

Vemos aí que, no instante inicial, a corrente tem valor nulo, crescendo até um valor máximo, caindo novamente a zero; neste instante, a corrente muda de sentido, porém, seus valores são os mesmos da primeira parte. O mesmo acontece com a tensão.

A essa variação completa, em ambos os sentidos, sofrida pela corrente alternada, dá-se o nome de ciclo. O número de ciclos descritos pela corrente alternada, na unidade de tempo, chama-se **freqüência**. Sua unidade é o ciclo/segundo ou Hertz. É medida em instrumentos chamados freqüencímetros. As freqüências mais comumente usadas são 50 c/s e 60 c/s.

Durante um ciclo, a corrente e a tensão tomam valores diferentes de instante a instante; esses são ditos valores momentâneos ou instantâneos, dentre os quais cumpre destacar o valor máximo (Imax).

Entretanto, na prática, não é o valor máximo o empregado e sim o valor eficaz. Por exemplo, um motor absorve uma corrente de 5 A que é o valor eficaz. Define-se como valor eficaz de uma corrente alternada ao valor de uma corrente contínua que produzisse a mesma quantidade de calor numa mesma resistência (Lei de Joule).

Esse valor é expresso por:

$$Ief = \frac{Imax}{\sqrt{2}} = 0{,}707\ Imax$$

Por analogia, para a tensão, temos:

$$Eef = \frac{Emax}{\sqrt{2}} = 0{,}707\ Emax$$

Tanto o voltímetro como o amperímetro para corrente alternada, medem valores eficazes.

1.2 RESISTÊNCIA EM CORRENTE ALTERNADA

Os resistores atuam sobre a corrente alternada praticamente do mesmo modo que sobre a contínua. A resistência que um resistor oferece à passagem da corrente elétrica, contínua ou alternada, é dada por:

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

Se enrolarmos um condutor sobre um núcleo de ferro, constituímos um indutor ou reator. Para a corrente contínua, a resistência a considerar é dada unicamente pela resistência (ohmica) do enrolamento do reator. Entretanto, para a corrente alternada, deve-se considerar ainda outra resistência. É chamada reatância indutiva.

$$X_L = 2\pi fL$$

Onde: **XL =** reatância indutiva, em Q
f = freqüência da corrente alternada, em ciclos/segundo
L = coeficiente de auto-indução; é uma grandeza que caracteriza cada reator em particular e é dado em henrys.

Duas superfícies condutoras separadas por um isolante (dielétrico) constituem um capacitor. O capacitor não permite a passagem da corrente contínua, aparentando porém, permitir a alternada, e oferecendo à passagem desta uma resistência, à qual damos o nome de reatância capacitiva.

A reatância capacitiva de um capacitor é dada por:

$$X_C = \frac{1}{\ }$$

$$2\pi fC$$

Onde: **XC =** reatância capacitiva, em Ω
f = freqüência da corrente alternada, em ciclos/segundo
C = capacitância, em microfarads (μ F)

A capacitância é uma grandeza que caracteriza cada capacitor; sua unidade na prática se usa um submúltiplo, o microfarad (μ F), que vale a milionésima parte de farad.

$$1\mu F \frac{1F}{1.000.000} = \frac{1F}{10^6}$$

1.3 CORRENTE ALTERNADA: DEFASAGEM ENTRE CORRENTE E TENSÃO

A corrente alternada e a tensão variam em ambos os sentidos durante um determinado intervalo de tempo, descrevendo um ciclo.

Representando graficamente esta variação, obtemos uma onda para a corrente e outra para a tensão.

Os alternadores, fontes geradoras de CA, são máquinas rotativas; por analogia a elas, o ciclo é dividido em 360º, representando uma circunferência retificadora. Os valores instantâneos da corrente, ou da tensão, durante um ciclo, podem ser representados pelas projeções do raio de um círculo, em suas diversas posições.

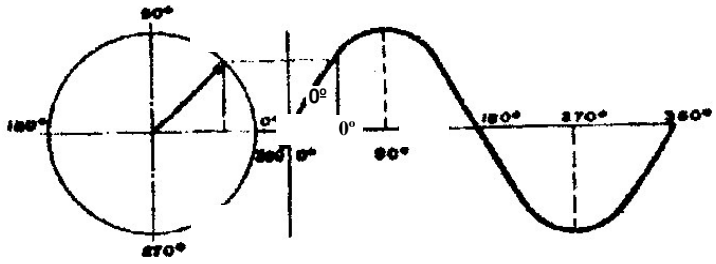


Figura 1.2 – Representação dos valores instantâneos de corrente e tensão durante um ciclo.

Desse modo, podemos representar a tensão e a corrente alternada por segmentos de reta proporcionais aos seus valores instantâneos. Esta representação é denominada geométrica. É muito usada pela facilidade que apresenta.

Os valores máximos da corrente e da tensão durante um ciclo podem ou não coincidir. Mas quando coincidem diz-se que ambas estão em fase.

Se não coincidem, estão defasadas. A diferença em graus, entre os instantes em que ocorrem os valores máximos da corrente e da tensão chama-se ângulo de fase (φ). Quando a corrente e a tensão estão defasadas, pode ocorrer que a

corrente esteja adiantada ou atrasada em relação à tensão. Ao coseno do ângulo da fase dá-se o nome de fator de potência.
A corrente alternada, passando através de um resistor estará em fase com a tensão, isto é, o ângulo da fase é nulo (φ = 0º). A este fato dá-se o nome de efeito resistivo ou ohmico puro.

Se passa por um indutor, devido ao fenômeno de auto-indução da bobina, a corrente estará atrasada em relação à tensão de um ângulo de 90º (φ = 90º); temos, então, um efeito indutivo. Num capacitor, a corrente se adianta da tensão de 90º. O efeito é capacitivo.

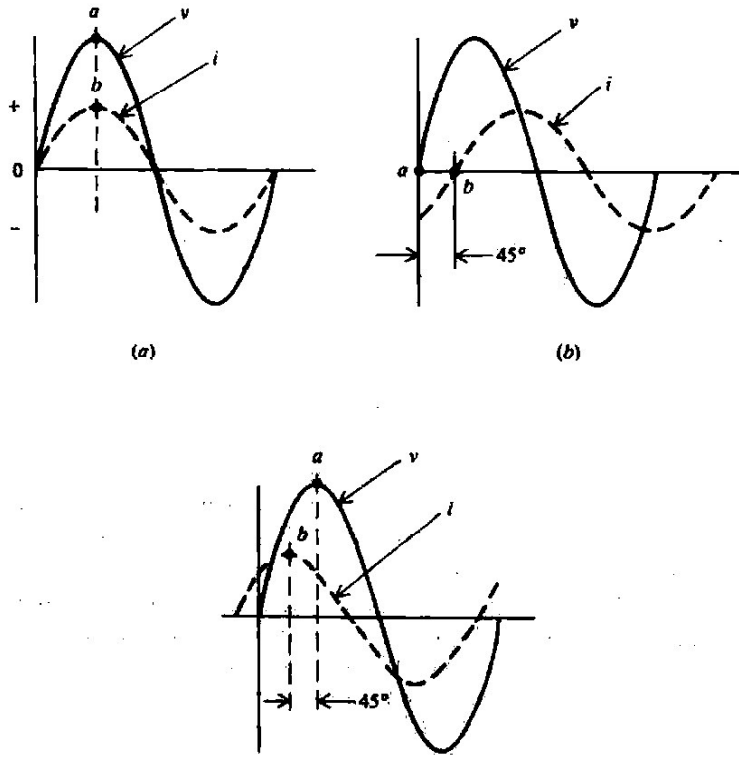


Figura 1.3 – Determinação do ângulo de fase entre formas de onda de tensão e de corrente.
a– Tensão e corrente em fase.
b – Corrente atrasada em relação à tensão
c – Corrente adiantada em relação à tensão

1.4 CIRCUITO SÉRIE DA CA

Num circuito série constituído por um resistor e um indutor, aplicamos uma tensão E de uma fonte geradora da CA, de freqüência f. Sendo I a corrente alternativa que circula pelo circuito, a queda de tensão no resistor será:

$$E_R = I \times R, \text{ em fase com a corrente;}$$

e a queda de tensão no indutor será:

E_L = I x XL, adiantada da corrente de 90º em relação a I.

A tensão aplicada está defasada de um ângulo φ da corrente, cujo valor é a soma geométrica entre E_R e E_L.

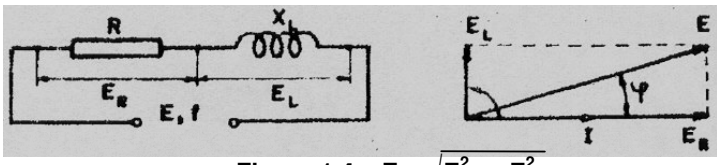


Figura 1.4 – $E = \sqrt{E^2_R + E^2_L}$

Colocando-se em série um capacitor no circuito anterior, a queda de tensão será E_C = I x X_C , que está atrasada de 90º em relação à corrente I.

Assim a tensão aplicada será:

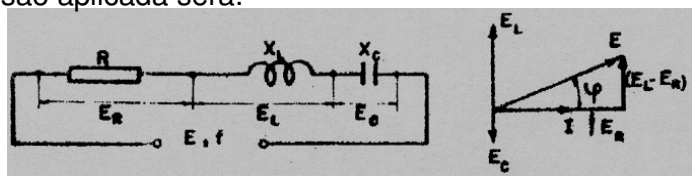


Figura 1.5 – $E = \sqrt{E^2_R + (E_L - E_C)^2}$

pois E_L e E_C estão sobre uma mesma reta, porém são de sentido oposto.

$$\text{A impedância será: } Z = \frac{E}{I}$$

ou, em outras palavras, a resistência total, oposta pelo circuito à passagem da corrente I, valerá:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

e o fator da potência do circuito será:

$$\cos \varphi = \frac{E_R}{E} \text{ ou } \cos \varphi = \frac{R}{Z}$$

1.5 CIRCUITO PARALELO DE CA

Num circuito paralelo, constituído por um resistor e um indutor, aplicamos uma tensão E, de freqüência f de uma fonte geradora de CA. Pelo resistor circula uma corrente I_R dada por:

Figura 1.6

$$I_R = \frac{E}{R}$$ **, em fase com E**

Pelo indutor, temos:

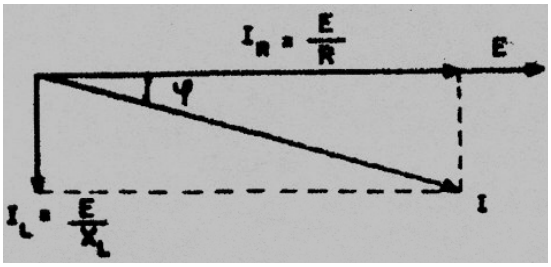


Figura 1.7

$$I_L = \frac{E}{X_L}$$ **, atrasada de 90° em relação a E.**

Pela linha circula uma corrente I, defasada de um ângulo φ em relação a E, cujo valor é a soma geométrica entre I_R e I_L:

$$I = \sqrt{I^2_R + I^2_L}$$

Se ligarmos mais uma derivação e nela colocarmos um capacitor, a corrente que passa por ele, é

$$I_C = \frac{E}{X_C}$$, que está adiantada de 90º em relação à tensão.

Deste modo, teremos:

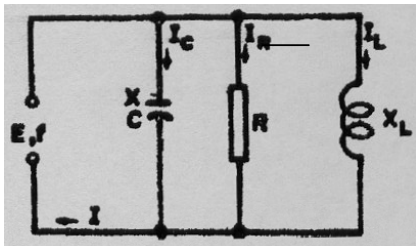


Figura 1.8 - E = $\sqrt{I^2_R + (I_L - I_C)^2}$

A impedância será: $Z = \frac{E}{\quad}$

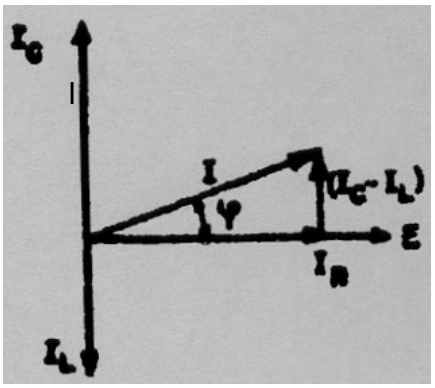


Figura 1.9 – O fator de potência será cós φ = $\frac{I_R}{\quad}$.

Na prática, costuma-se ligar capacitores em paralelos aos circuitos (que na maioria das vezes são de comportamento indutivo) com o fim de se ter um fator de potência próximo à unidade (φ = 0º).

Isto equivale tornar o circuito com comportamento próximo ao resistivo ou ohmico. Tal medida é interessante, uma vez que o componente, defasado de 90º em relação à tensão, diminui, permitindo o melhor aproveitamento das linhas de transmissão.

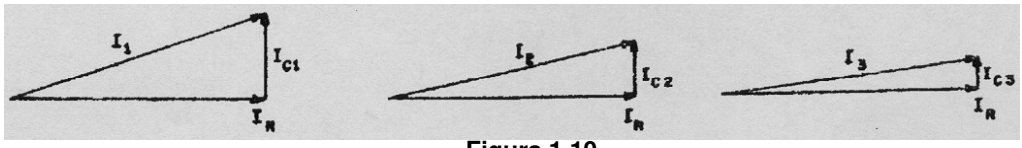


Figura 1.10

1.6 CORRENTE ALTERNADA E TENSÃO TRIFÁSICA

Quando uma linha é formada por três condutores com as tensões entre um e outro iguais, porém defasadas de 120º, temos uma rede trifásica.

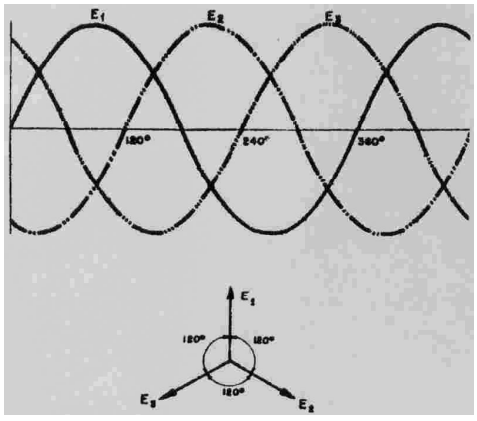


Figura 1.11 - Representação da corrente alternada ou tensão trifásica.

Quando ligamos a uma linha trifásica três fontes receptoras, ou três elementos de uma fonte receptora, temos um circuito trifásico.

Conforme a maneira de efetuarmos as ligações temos um circuito estrela ou triângulo (Y ou Δ).

1.7 CIRCUITO ESTRELA OU Y

As três extremidades dos finais dos elementos são ligadas entre si, e as três iniciais à linha.

Como se pode ver na figura seguinte, a corrente que passa pela linha, é a mesma que passa pelos elementos, isto é, a corrente de linhas é igual a corrente de fase.

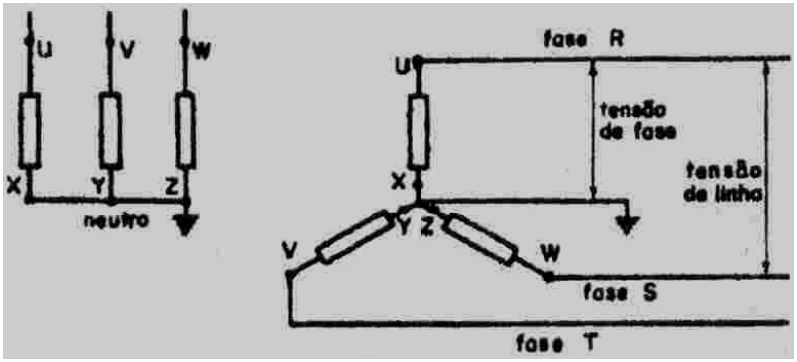


Figura 1.12 – $I = I_{Linha} = I_{Fase}$.

O ponto comum aos três elementos chama-se neutro. Se deste ponto se tira um condutor, temos o condutor neutro, que em geral é ligado à terra.

A tensão aplicada a cada elemento (entre condutores de fase e neutro) é chamada tensão de fase e a entre dois condutores de fase, tensão de linha.

A relação entre elas é: $E = E_{Linha} = E_{Fase} \times \sqrt{3}$

1.8 CIRCUITO TRIÂNGULO OU Δ

A extremidade final de um elemento é ligada à inicial do outro, de modo que os três fiquem dispostos eletricamente, segundo os lados de um triângulo eqüilátero. Os vértices são ligados à linha.

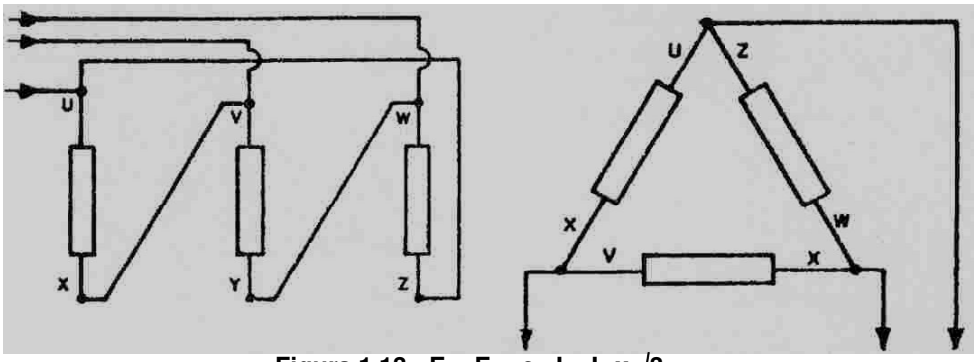


Figura 1.13 - E = E_F e I = I_F x √3

Os elementos de um receptor trifásico são representados, respectivamente, por:

U - X, V - Y e W – Z

sendo U, V e W as extremidades iniciais, ou por 1-4, 2-5 e 3-6, sendo 1, 2 e 3 os inícios, pois cada elemento tem sua polaridade que deve ser conservada na ligação. A distribuição de energia elétrica é feita em geral em sistemas trifásicos, cujas redes podem ser ligadas em estrela ou triângulo.

Na rede em Y, o neutro é ligado à terra, obtendo-se duas tensões uma entre fase e neutro e outra entre fases $\sqrt{3}$ vezes maior.

Exemplo

E_f = 127V entre qualquer fase e neutro e
E = 127 √3 = 220 V entre fases.

Quando a rede é em triângulo, podemos retirar um condutor do centro de cada fase, obtendo-se duas tensões, sendo uma o dobro da outra como por exemplo 110 e 220 V.

Em geral, as cargas monofásicas (lâmpadas e pequenos motores) são ligadas à tensão mais baixa e as trifásicas (força, aquecimento industrial etc.) à mais alta.

As cargas monofásicas, num circuito trifásico, devem ser distribuídas igualmente entre as fases, para que uma não fique sobrecarregada em detrimento das outras.

1.9 POTÊNCIA NOS CIRCUITOS DE CA

A potência consumida por um circuito de corrente contínua é dada em watts, pelo produto da tensão pela corrente.

Em corrente alternada, este produto representa a potência aparente do circuito, isto é, a potência que o circuito aparenta ter uma vez que há uma defasagem entre E e I. É medida em volt-amperes (V A) sendo (V A) = E x I.

VA = potência aparente, em volt-amperes
E = tensão em volts
I = corrente em amperes.

A potência que produz trabalho nos circuitos de CA, é chamada potência ativa ou vatada, e é dada, em watts, pelo produto $W = E \times I \times \cos \varphi$ onde:

W = potência ativa, em watts
E = tensão, em volts
I = corrente em amperes

O fator cos φ (coseno do ângulo de base) é chamado fator de potência do circuito, pois é ele que determina qual a percentagem de potência aparente que é empregada para produzir trabalho.

O fator de potência é de suma importância nos circuitos de CA. A NB-3 especifica o valor mínimo do fator de potência em 0,92 medido junto ao medidor de energia.

Mede-se o fator de potência em aparelhos chamados de medidores de cos φ.
O fator de potência pode ser determinado por:

$$\cos \varphi = \frac{W}{E \times I}$$

Obtida da expressão $W = E \times I \times \cos \varphi$.

O fator de potência deve ser o mais alto possível, isto é, próximo à unidade. Deste modo, com a mesma corrente e a mesma tensão, conseguimos uma maior potência ativa, que, como sabemos, é a que produz trabalho no circuito.

Ao produto $VAR = E \times I \times \text{sen } \varphi$ denominamos de potência reativa; é a porção da potência aparente que hora é fornecida pelo gerador à carga, hora é devolvida pela carga ao gerador.

Nos circuitos trifásicos, a potência ativa total é a soma das potências de cada fase.

$$W_F = E_F \times I_F \cos \varphi$$

$$W = 3E_F \times I_F \times \cos \varphi$$

Como temos, no circuito estrela:

$$E_F = \frac{E}{\sqrt{3}} \quad \text{e} \quad I_F = I_L$$

e no triângulo:

$$E_F = E \quad e \quad I_F = \frac{I}{\sqrt{3}}$$

resulta:

$$W = E \times I \times \cos \varphi \sqrt{3}$$

tanto para circuito estrela como para o circuito triângulo, dado em função dos elementos de linha. A potência aparente num sistema trifásico será portanto:

$$(VA) = E \times I \times \sqrt{3}$$

Na prática, os alternadores e transformadores são construídos visando-se as potências aparentes de carga; é comum, por exemplo, encontramos transformadores para trabalharem com 100 kVA.

Os fabricantes fornecem, sempre, além de outras características, o fator de potência, a fim de podermos determinar a potência vatada. Já os motores são especificados para uma dada potência ativa em watts ou HP.

2. INTRODUÇÃO A COMPONENTES DE COMANDOS

2.1 CONTATOR

é um dispositivo de manobra com atração magnética destinado à interrupção de correntes nominais ou de sobrecargas pré-definidas. As diferenças básicas entre o contator e o seccionador sob carga são:

- o contator permite comando automático, além do comando manual local;
- o contator é adequado para uma elevada freqüência de manobras.

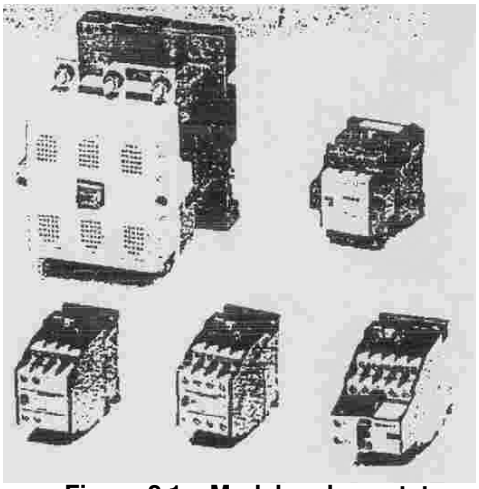


Figura 2.1 – Modelos de contatores

2.1.1 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

Seu princípio de funcionamento baseia-se na força magnética que tem origem na energização de uma bobina (bobina eletromagnética) e na força mecânica proveniente do conjunto de molas de que se compõe (mola interruptora). Quando a bobina é energizada, a força eletromecânica desta sobrepõe-se à força mecânica das molas, obrigando os contatos móveis a se fecharem sobre os contatos fixos. A velocidade de fechamento tem seu valor dado pela resultante da força magnética proveniente da bobina e da força mecânica das molas de separação que atuam em sentido contrário. São assim as molas, as únicas responsáveis pela velocidade de abertura do contator - função que ocorre quando a bobina magnética não estiver sendo alimentada, ou quando o valor da força magnética for inferior à força das molas.

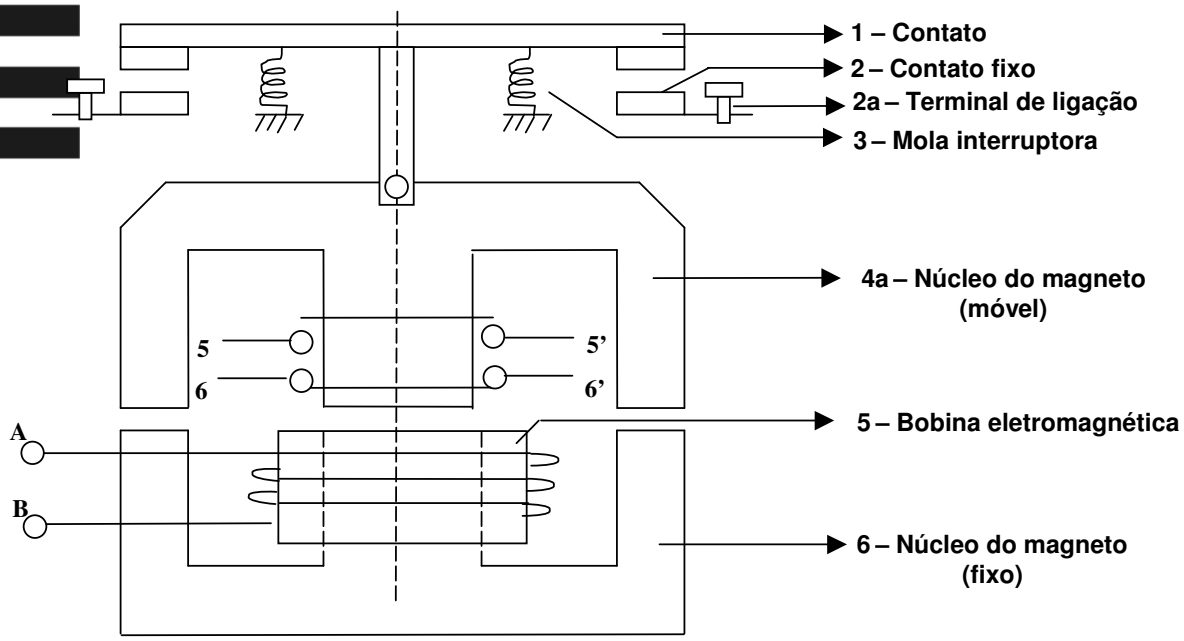


Figura 2.2

Os contatos principais (contato móvel e contato fixo) permitem a conexão da fonte à carga. Portanto são contatos que definem o estado operacional da carga. Estes contatos são projetados para o comando de circuitos sob condições nominais de serviço. Os contatos 5 e 5' (NA) e 6 e 6' (NF) são chamados de "contatos auxiliares", devido às funções que exercem no circuito de comando da bobina do contator. Com a energização da bobina, os contatos principais são fechados, os contatos auxiliares normalmente abertos (NA) também são fechados e os contatos auxiliares normalmente fechados (NF), são abertos.

Geralmente o comando para ligação, ou seja, para energização da bobina é fornecido na forma de um pulso, isto é, não permanente.

Para manter-se a bobina energizada é necessária a utilização de um contato auxiliar normalmente aberto em paralelo com o botão de comando "liga".

Observe a seqüência de operações:

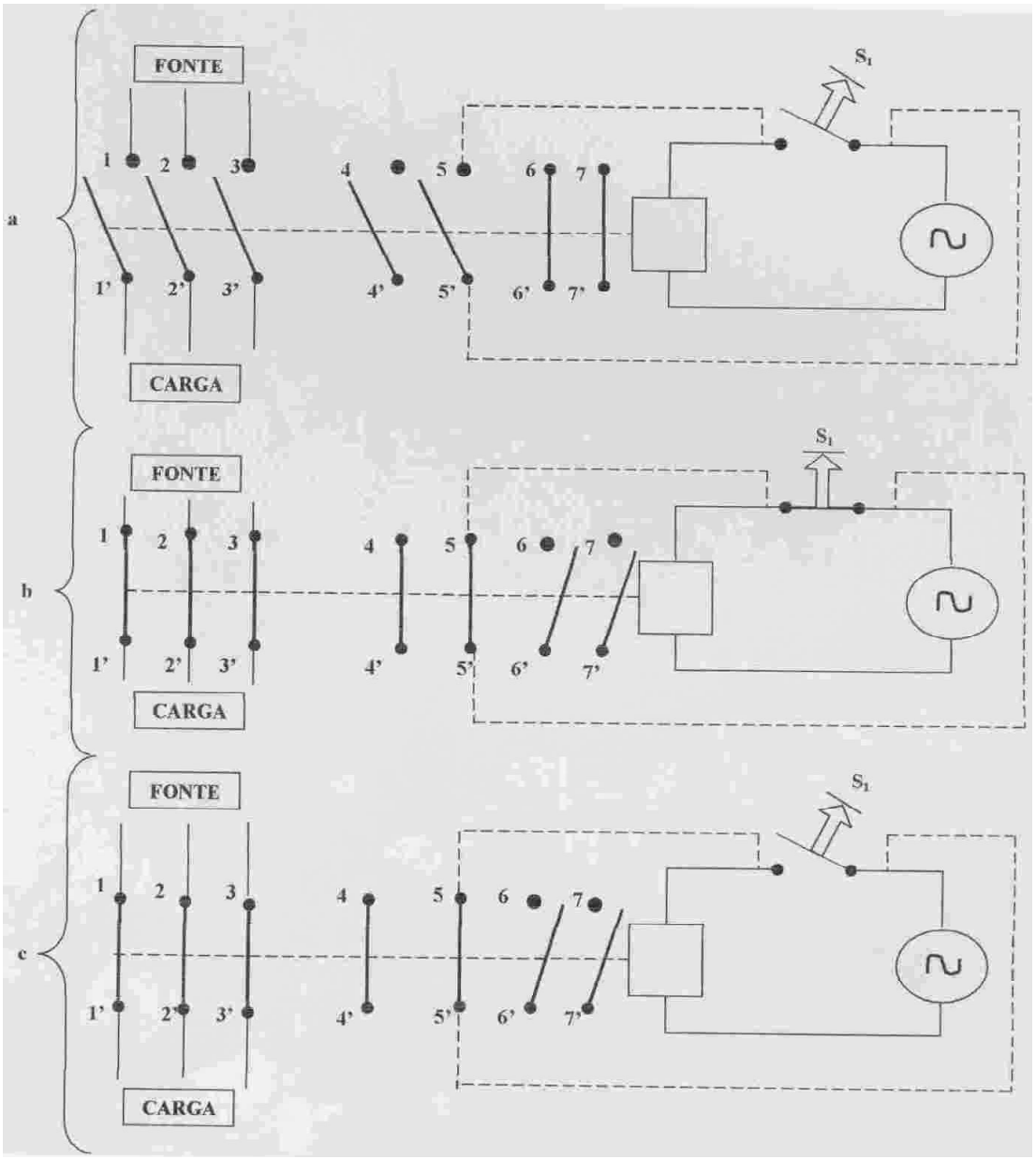


Figura 2.3 – Princípio de funcionamento de um contator

No estágio “a”, a bobina do contator está desenergizada, os contatos principais e os contatos auxiliares NA estão abertos e os contatos auxiliares NF estão fechados. No estágio “b”, o botão S1 é ligado, a bobina é energizada, os contatos principais e os contatos auxiliares NA são fechados e os contatos auxiliares NF são abertos. Observe que o contato auxiliar 5-5’ é ligado em paralelo com o botão S1.

No estágio “c”, o botão S1 volta a posição inicial desligado. Porém, a bobina do contator permanece energizada através do contato auxiliar 5-5’. Este contato por

sua função específica no circuito recebe a denominação de contato selo ou contato de retenção. O desligamento do contator é conseguido com o auxílio de um segundo botão do tipo NF, ou seja, normalmente fechado. Outros contatos auxiliares (4-4', 6-6' e 7-7') poderão ser usados para outras funções no circuito de comando da bobina, como por exemplo sinalização, intertravamento, etc.

A configuração dos contatos, o material empregado, a existência ou não de câmara de extinção e a velocidade de abertura, são grandezas e fatores dimensionados e escolhidos de acordo com o tipo de carga a ser comandada. A alimentação da bobina é efetuada por meio de contatos por acionamento mecânico, (botão de comando, fim de curso, etc), cujos elementos de comando estão ligados em série com a bobina.

2.1.2 CLASSIFICAÇÃO

Existem os Contatores para Motores e os Contatores Auxiliares. Eles são idênticos, porém algumas características mecânicas e elétricas os diferem.

Contatores Para Motores

- Dois tipos de contatos com capacidade de carga diferente (principais/auxiliares);
- maior robustez de construção;
- podem receber relés de proteção;
- geralmente têm câmara de extinção;
- a potência da bobina do eletroímã varia de acordo com o tipo de contator;
- tamanho físico de acordo com a potência a ser comandada;
- pode ter a bobina do eletroímã com o secundário.

Contatores Auxiliares

- tamanho físico variável, conforme o número de contatos;
- potência da bobina do eletroímã, praticamente constante para qualquer tipo;
- corrente nominal de carga máxima de 10A para todos os contatos;
- câmara de extinção. Praticamente inexistente;
- não tem necessidade de relés de proteção;
- são utilizados para aumentar o número de contatos auxiliares dos contatores de motores, para comandar contatores de elevado consumo na bobina, para evitar repique, para sinalização, e conforme a necessidade operacional do circuito.

2.1.3 VANTAGENS

- Comando à distância;
- número de manobras elevado (de 10 a 30 milhões);
- vida mecânica elevada;
- pequeno espaço para montagem;
- garantia de comando imediato;

– tensão de operação de 0,85 a 1,10 da tensão nominal prevista para o contator.

2.1.4 NORMAS

A normalização na identificação dos contatores e demais dispositivos de manobra de baixa tensão é o meio utilizado para tornar mais uniforme a execução de projetos de comandos e facilitar a localização e função destes elementos na instalação.

Contatos Principais

São numerados de acordo com a norma DIN EM 50011.

Os terminais de entrada 1, 3 e 5 voltam-se para a rede (fonte) enquanto os terminais de saída 2, 4 e 6 voltam-se para o motor (carga), sendo os terminais de alimentação da bobina identificados por "A_1" e "A_2" ou ainda "a" e "b".

Figura 2.4 - Identificação dos contatos de um contator e um relé de sobrecarga

Contatos Auxiliares

São identificados por números de dois dígitos de acordo com a norma DIN EM 50011, respeitadas as determinações de seqüenciamento, função e disposição mecânica.

Sequenciamento: o primeiro dígito integrante da identificação de um contato auxiliar indica a posição ocupada pelo mesmo a partir da esquerda.

Função: a função do contato é indicada pelo segundo dígito, conforme o convencionado pela norma como segue:

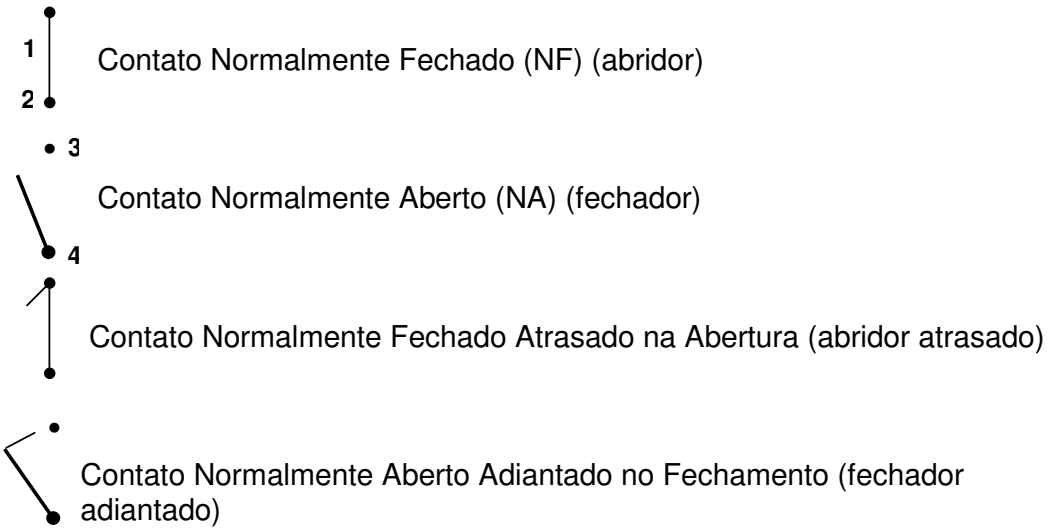


Figura 2.5 – Simbologia da condição do contato

Contatos Auxiliares

Os casos da folha representam as funções usuais em contatores sendo o número superior o de entrada e o inferior o de saída. Veja o exemplo de um contator auxiliar.

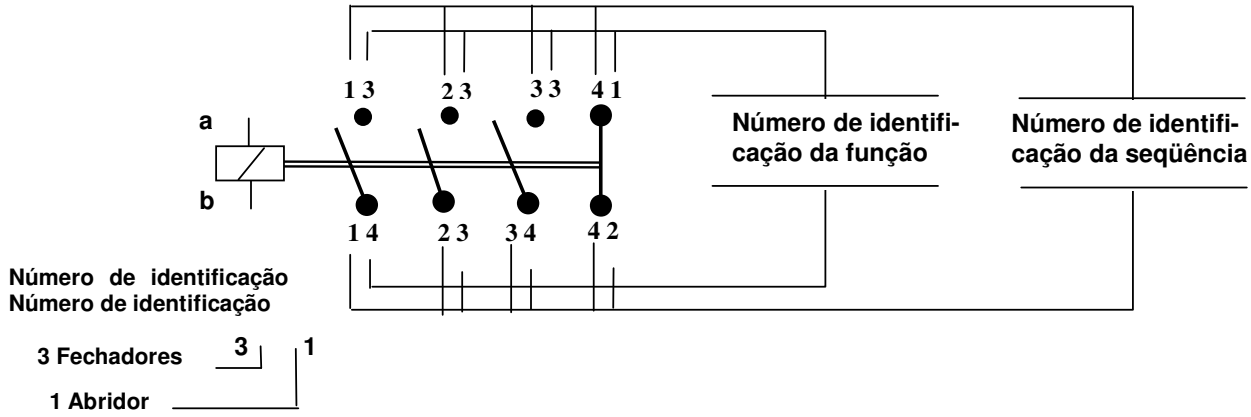


Figura 2.6 - Especificação do contator a terminação "E"

Na especificação de um contator, os dígitos numéricos de identificação têm os seguintes significados:

1º dígito = número de contatores fechadores
2º dígito = número de contatores abridores
3º dígito = número de contatos comutadores

Não existindo contatos ou abridores, deve ser escrito, na posição correspondente, o algarismo “0”.
Independente do tipo de construção do equipamento, as identificações de terminais e símbolos para contatores auxiliares vêm indicadas na DIN 46199.
Os contatores auxiliares duplos e relés de ligação têm normalizado também o posicionamento físico dos contatos.
Disposição mecânica: além da codificação normal de seqüenciamento e função dos contatos auxiliares, existe ainda uma nomenclatura dependente da disposição mecânica destes, a saber:

- Terminação “E”: esta terminação, destinada à disposição preferencial, dita que em seqüência de dois contatos, sendo 1NA + 1NF, tem-se sempre em primeiro o contato normalmente aberto (NA), seguido normalmente fechado (NF). Já que nas seqüências com número de contatos superior a dois tem um contato NA iniciando a seqüência, seguido de todos os NF, e após estes os NA restantes. Assim, respeitadas as condições citadas acrescente-se à especificação do contator a terminação “E”.

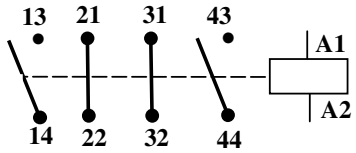


Figura 2.7 - Exemplo de um contator auxiliar CAW 04.22E (Fabricação WEG)

- Terminação “Z”: existem situações em que as características construtivas do contator não permitem a disposição preferencial “E”. Nestes casos opta-se pela variante “Z”, que dita para qualquer seqüência, que tenha-se em primeiro lugar todos os contatos NA, seguidos de todos NF.

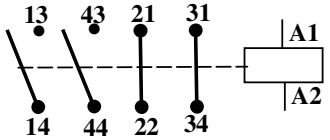


Figura 2.8 - Exemplo de um contator auxiliar CAW 04.22Z (Fabricação WEG)

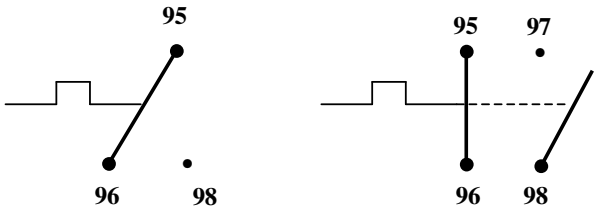


Figura 2.9 - Contatos de um relé de sobrecarga

2.2 DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO

Os dispositivos de segurança e proteção são componentes que, inseridos nos circuitos elétricos, servem para interrompê-los quando alguma anomalia acontece. São também as partes integrantes de um disjuntor industrial que, ao ser alterada uma grandeza elétrica (corrente ou tensão), age mecanicamente sobre o elemento de comando dos contatos, provocando a interrupção do circuito.

Nesse capítulo veremos os dispositivos empregados para proteção dos motores. Para atender esse conteúdo com mais facilidade, é necessário ter conhecimentos anteriores sobre corrente elétrica, picos de correntes dos motores e sistemas de partida.

2.2.1 FUSÍVEIS

São inseridos nos circuitos para interrompê-los em situações anormais de corrente, como curto-circuito ou sobrecargas de longa duração.

De modo geral, são classificados segundo a tensão de alimentação em alta ou baixa tensão, e, também, segundo as características de desligamento em efeito rápido ou retardado.

Fusíveis de Efeito Rápido

Os fusíveis de efeito rápido são empregados em circuitos em que não há variação considerável de corrente entre a fase de partida e a de regime normal de funcionamento.

Esses fusíveis são ideais para a proteção de circuitos com semicondutores (diodos e tiristores).

Fusíveis de Efeito Retardado

Os fusíveis de efeito retardado são apropriados para uso em circuitos, cuja corrente de partida atinge valores muitas vezes superiores ao valor da corrente nominal, e em circuitos que estejam sujeitos a sobrecargas de curta duração.

Como exemplo desses circuitos podemos citar os motores elétricos, as cargas indutivas e as cargas capacitivas em geral. Os mais comumente usados são os NH e DIAZED.

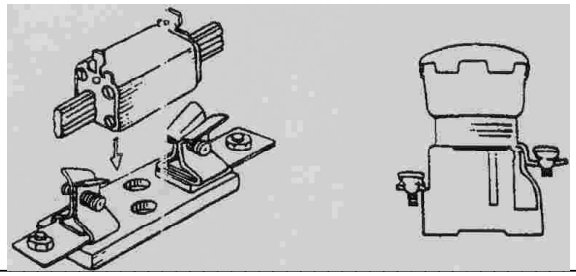


Figura 2.10 – Fusíveis NH e DIAZED

Fusíveis NH

Os fusíveis NH suportam elevações de corrente durante um certo tempo sem que ocorra fusão.

Eles são empregados em circuitos sujeitos a picos de corrente e onde existem cargas indutivas e capacitivas.

Sua construção permite valores padronizados de corrente que variam de 6 a 1000 A. Sua capacidade de ruptura é sempre superior a 70kA com uma tensão máxima de 500V.

Construção dos Fusíveis NH

Os fusíveis NH são constituídos por duas partes: base e fusível.

A base é fabricada de material isolante como a esteatita, o plástico ou o termofixo. Nela são fixados os contatos em forma de garras as quais estão acopladas molas que aumentam a pressão de contato.

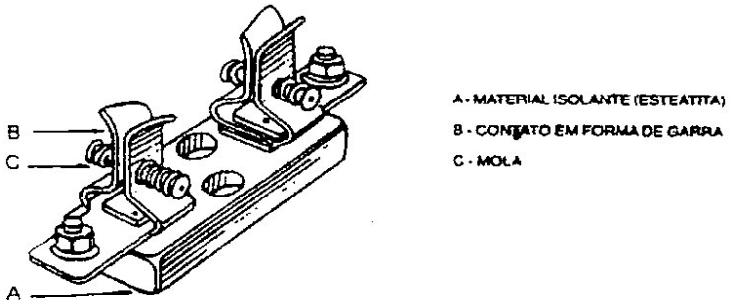


Figura 2.11 – Base de montagem de fusíveis do sistema NH

O fusível possui corpo de porcelana de seção retangular. Dentro desse corpo, estão o elo fusível e o elo indicador de queima imersos em areia especial.

Nas duas extremidades do corpo de porcelana existem duas faces de metal que se encaixam perfeitamente nas garras da base.

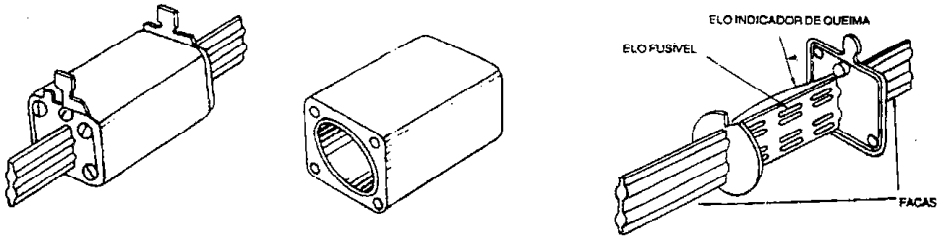


Figura 2.12 – Partes do fusível NH

O elo fusível é feito de cobre em forma de lâminas vazadas em determinados pontos para reduzir a seção condutora. O elo fusível pode ainda ser fabricado em prata.

Fusíveis DIAZED

Os fusíveis DIAZED podem ser de ação rápida ou retardada. Os de ação rápida são usados em circuitos resistivos, ou seja, sem picos de corrente.

Os de ação retardada são usados em circuitos com motores e capacitores, sujeitos a picos de corrente.

Esses fusíveis são construídos para valores de, no máximo, 200 A. A capacidade de ruptura é de 70kA com uma tensão de 500V.

Construção dos Fusíveis DIAZED

O fusível DIAZED (ou D) é composto por base (aberta ou protegida), tampa, fusível, parafuso de ajuste e anel.
A base é feita de porcelana dentro da qual está um elemento metálico roscado internamente e ligado externamente a um dos bornes. O outro borne está isolado do primeiro e ligado ao parafuso de ajuste.

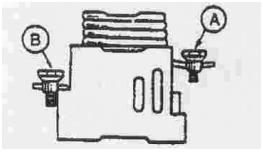


Figura 2.13 – A = Borne ligado ao corpo roscado
B = Borne ligado ao parafuso de ajuste

A tampa, geralmente de porcelana, fixa o fusível à base e não é inutilizada com a queima do fusível. Ela permite inspeção visual do indicador do fusível e sua substituição mesmo sob tensão.

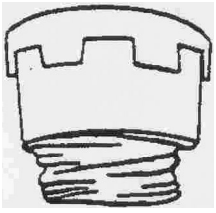


Figura 2.14 – Tampa do fusível DIAZED

O parafuso de ajuste tem a função de impedir o uso de fusíveis de capacidade superior à desejada para o circuito. A montagem do parafuso é feita por meio de uma chave especial.

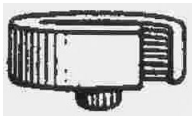


Figura 2.15 – Parafuso de ajuste

O anel é um elemento de porcelana com rosca interna, cuja função é proteger a rosca metálica da base aberta, pois evita a possibilidade de contatos acidentais na troca do fusível.

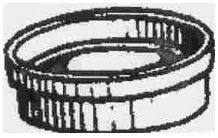


Figura 2.16 – Anel

O fusível é um dispositivo de porcelana em cujas extremidades é fixado um fio de cobre puro ou recoberto por uma camada de zinco. Ele fica imerso em areia especial, cuja função é extinguir o arco voltaico e evitar o perigo de explosão quando da queima do fusível.

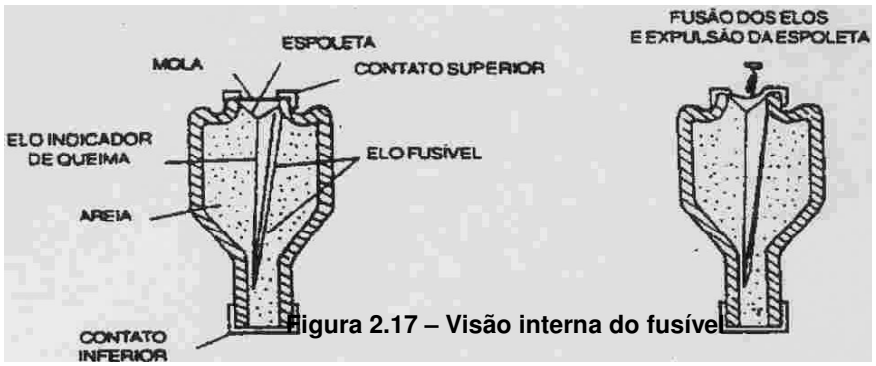


Figura 2.17 – Visão interna do fusível

O fusível possui um indicador, visível através da tampa, cuja corrente nominal é identificado por meio de cores e que se desprende em caso de queima. Veja na tabela a seguir, algumas cores e suas correntes nominais correspondentes.

Cor	Intensidade de corrente (A)
Rosa	2
Marrom	4
Verde	6
Vermelho	10
Cinza	16
Azul	20
Amarelo	25
Preto	35
Branco	50
Laranja	63

Tabela 2.1

O elo indicador de queima é constituído de um fio muito fino ligado em paralelo com o elo fusível. Em caso de queima do elo fusível, o indicador de queima também se funde e provoca o desprendimento da espoleta.

Características e Instalação

As principais características dos fusíveis DIAZED e NH são:

Corrente nominal: corrente máxima que o fusível suporta continuamente sem interromper o funcionamento do circuito. Esse valor é marcado no corpo de porcelana do fusível.

Corrente de curto-circuito: corrente máxima que deve circular no circuito e que deve ser interrompida instantaneamente.

Capacidade de ruptura (kA): valor de corrente que o fusível é capaz de interromper com segurança. Não depende da tensão nominal da instalação.

Tensão nominal: tensão para a qual o fusível foi construído. Os fusíveis normais para baixa tensão são indicados para tensões de serviço de até 500V em CA e 600V em CC.

Resistência elétrica (ou resistência ôhmica): grandeza elétrica que depende do material e da pressão exercida. A resistência de contato entre a base e o fusível é a responsável por eventuais aquecimentos que podem provocar a queima do fusível.

Curva de relação tempo de fusão x corrente: curvas que indicam o tempo que o fusível leva para desligar o circuito. Elas são variáveis de acordo com o tempo, a corrente, o tipo de fusível e são fornecidas pelo fabricante. Dentro dessas curvas, quanto maior for a corrente circulante, menor será o tempo em que o fusível terá que desligar. Veja a curva típica abaixo:

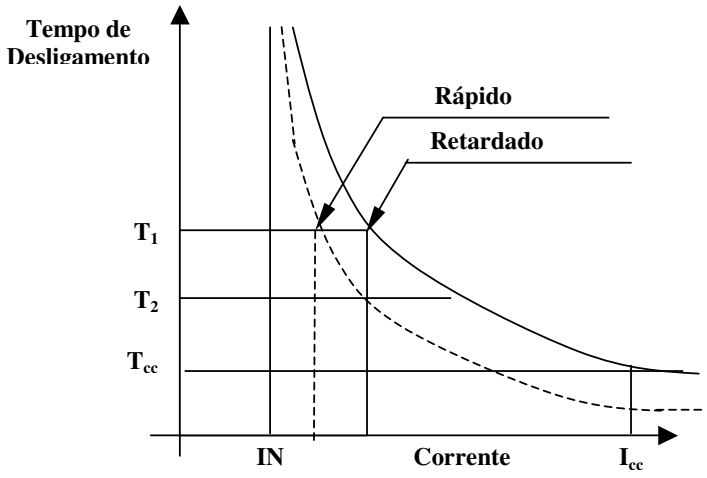


Figura 2.18 - IN: Corrente Nominal
I_{cc}: Corrente de curto-circuito
T_{cc}: Tempo de desligamento para curto-circuito

A instalação dos fusíveis DIAZED e NH deve ser no ponto inicial do circuito a ser protegido.

Os locais devem ser arejados para que a temperatura se conserve igual à do ambiente. Esses locais devem ser de fácil acesso para facilitar a inspeção e a manutenção.

A instalação deve ser feita de tal modo que permita seu manejo sem perigo de choque para o operador.

Escolha do Fusível

A escolha do fusível é feita considerando-se corrente nominal da rede, a malha ou circuito que se pretende proteger. Os circuitos elétricos devem ser dimensionados para uma determinada carga nominal dada pela carga que se pretende ligar.

A escolha do fusível deve ser feita de modo que qualquer anormalidade elétrica no circuito fique restrita ao setor onde ela ocorrer, sem afetar os outros.

Dimensionamento

Para dimensionar um fusível é necessário levar em consideração as seguintes grandezas elétricas:

- Corrente nominal do circuito ou ramal;
- Corrente de curto-circuito;
- Tensão nominal.

2.2.2 RELÉS

O relé é um dispositivo de comando, ou seja, é empregado na partida de motores no processamento de solda de ponto, no comando de laminadoras e prensas e no controle de iluminação de edifícios.

Para compreender com mais facilidade o funcionamento desse dispositivo, é necessário ter conhecimentos anteriores sobre eletromagnetismo.

Diferentemente dos fusíveis, que se autodestroem, os relés abrem os circuitos em presença de sobrecarga, por exemplo, e continuam a ser usados após sanada a irregularidade.

Em relação aos fusíveis, os relés apresentam as seguintes vantagens:

- ação mais segura;
- possibilidade de modificação do estado ligado para desligamento (e vice-versa);
- proteção do usuário contra sobrecargas mínimas dos limites predeterminados;
- retardamento natural que permite picos de corrente próprios às partidas de motores.

Tipos

Os relés usados como dispositivos de segurança podem ser eletromagnéticos e térmicos.

Os **relés eletromagnéticos** funcionam com base na ação do eletromagnetismo, por meio do qual um núcleo de ferro próximo de uma bobina é atraído, quando esta é percorrida por uma corrente elétrica. Os mais comuns são de dois tipos:

- relé de mínima tensão e
- relé de máxima corrente.

O relé de mínima tensão recebe uma regulagem aproximadamente 20% menor do que a tensão nominal. Se a tensão abaixar a um valor prejudicial, o relé interrompe o circuito de comando da chave principal e, conseqüentemente, abre os contatos dessa chave abrindo o circuito.

Os relés de mínima tensão são aplicados principalmente em contatores e disjuntores.

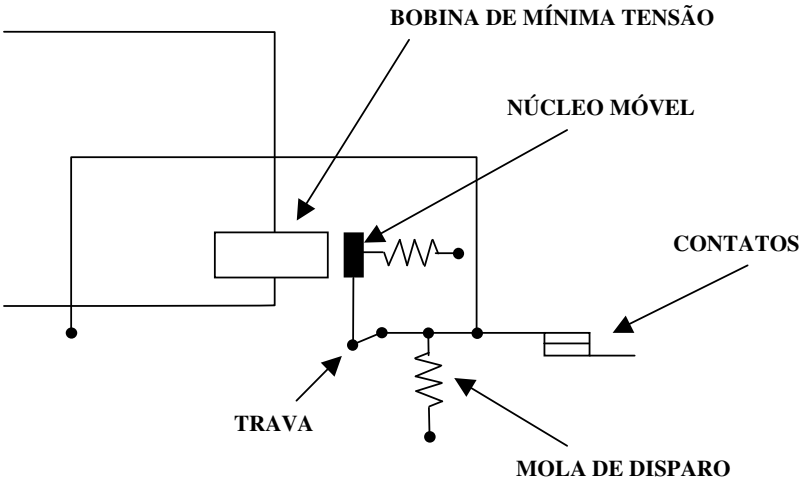


Figura 2.19 - Esquema simplificado de um relé de mínima tensão

O relé de máxima corrente é regulado para proteger um circuito contra excesso de corrente. Esse tipo de relé abre, indiretamente, o circuito principal, assim que a corrente atingir o limite da regulagem.

A corrente elevada, ao circular pela bobina, faz com que o núcleo do relé atraia o fecho. Isto provoca a abertura do contato abridor e interrompe o circuito de comando.

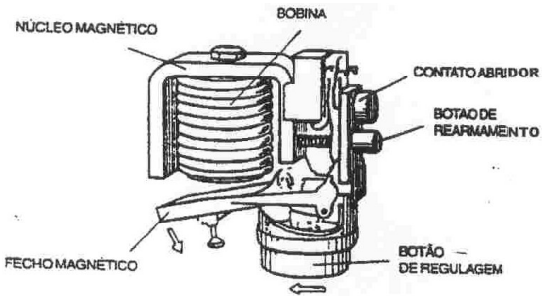


Figura 2.20 – Relé de máxima corrente

A regulagem desse tipo de relé é feita aproximando-se ou afastando-se o fecho do núcleo. Quando o fecho é afastado, é necessário uma corrente mais elevada para acionar o relé.

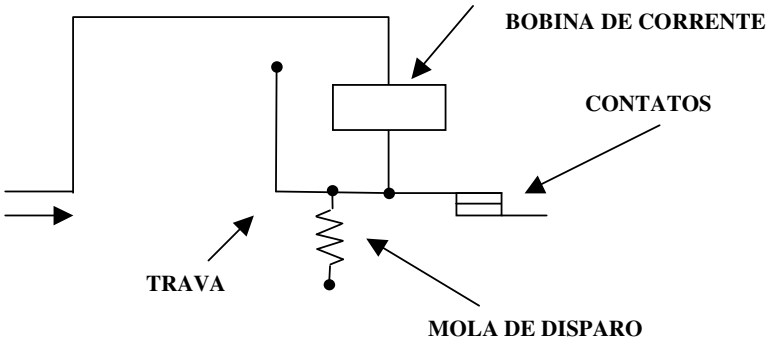


Figura 2.21 – Esquema simplificado de um relé de máxima corrente

Os **relés térmicos**, como dispositivos de proteção, controle ou comando do circuito elétrico, atua por efeito térmico provocado pela corrente elétrica.

O elemento básico dos relés térmicos é o bimetal.

O bimetal é um conjunto formado por duas lâminas de metais diferentes (normalmente ferro e níquel), sobrepostas e soldadas.

Esses dois metais, de coeficientes de dilatação diferentes, formam um par metálico. Por causa da diferença de coeficiente de dilatação, se o par metálico for submetido a uma temperatura elevada, um dos metais do par vai dilatar mais que o outro.

Por estarem fortemente unidos, o metal de menor coeficiente de dilatação provoca o encurvamento do conjunto para o seu lado, afastando o conjunto de um ponto determinado.

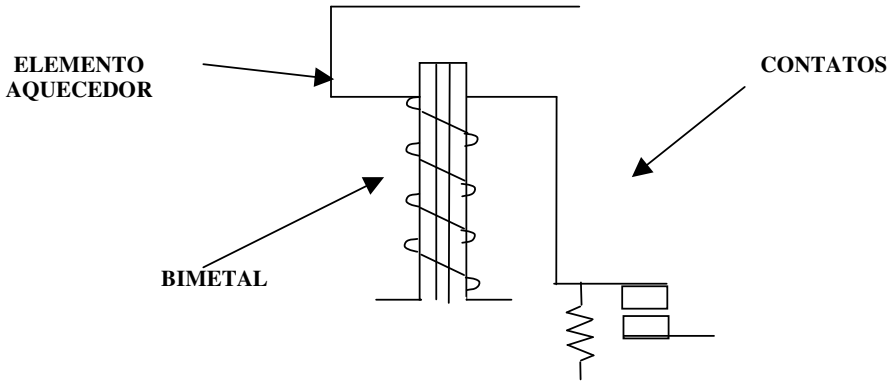


Figura 2.22 – Representação esquemática da atuação dos relés térmicos

Esse movimento é usado para disparar um gatilho ou abrir um circuito, por exemplo. Portanto, essa característica do bimetal permite que o relé exerça o controle de sobrecarga para proteção dos motores.

Os relés térmicos para proteção de sobrecarga são:

- diretos;
- indiretos;
- com retenção.

Os **relés térmicos diretos** são aquecidos pela passagem da corrente de carga pelo bimetal. Havendo sobrecarga, o relé desarma o disjuntor.

Embora a ação bimetal seja lenta, o desligamento dos contatos é brusco à ação do gatilho. Essa abertura rápida impede a danificação ou soldagem dos contatos.

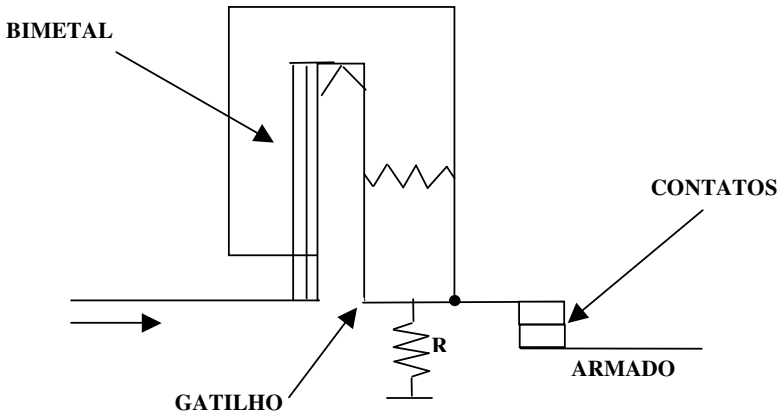


Figura 2.23 - Representação esquemática de um relé térmico direto armado

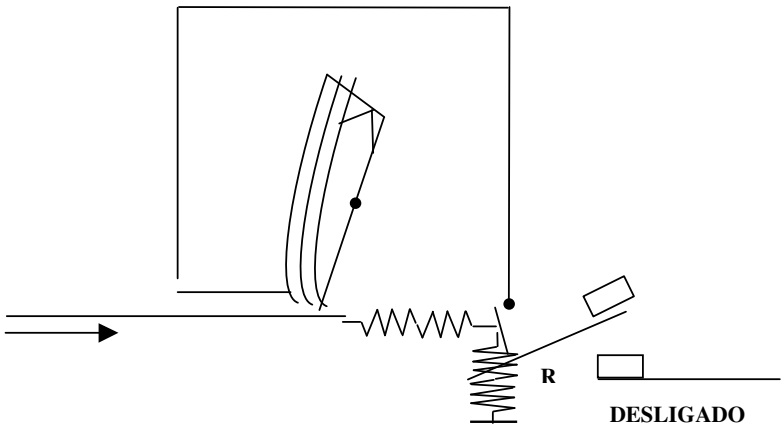


Figura 2.24 - Representação esquemática de um relé térmico direto desligado por sobrecarga

Nos circuitos trifásicos, o relé térmico possui três lâminas bimetálicas (A,B,C), que atuam conjuntamente quando houver sobrecarga equilibrada.

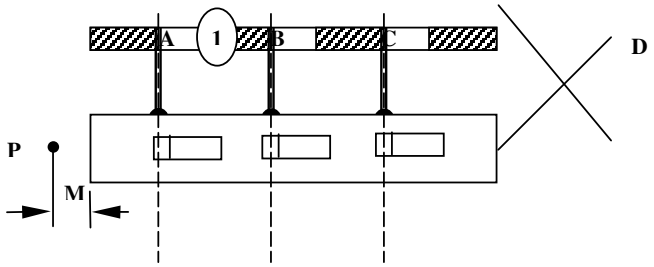


Figura 2.25 – Representação esquemática das lâminas bimetálicas do relé térmico

Os **relés térmicos indiretos** são aquecidos por um elemento aquecedor indireto que transmite calor ao bimetal e faz o relé funcionar.

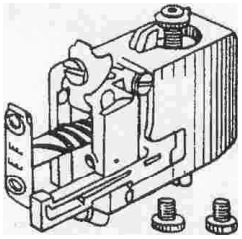


Figura 2.26 – Relé térmico indireto

Os **relés térmicos com retenção** possuem dispositivos que travam os contatos na posição desligados, após atuação do relé. Para que os contatos voltem a operar, é necessário soltar, manualmente a trava por meio de um botão específico. O relé, então, estará pronto para funcionar novamente.

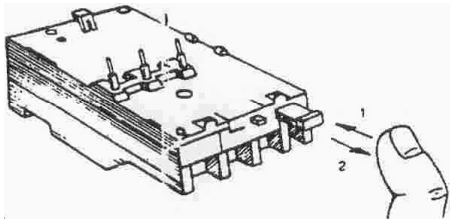


Figura 2.27 – Relé térmico com retenção

Observação: É necessário sempre verificar o motivo por que o relé desarmou, antes de armá-lo novamente.

Os relés térmicos podem ser ainda compensados ou diferenciais.

O **relé térmico compensado** possui um elemento interno que compensa as variações da temperatura ambiente.

O **relé térmico diferencial** (ou falta de fase) dispara mais rapidamente que o normal, quando há falta de uma fase ou sobrecarga em uma delas. Assim, um relé diferencial, regulado para disparar em cinco minutos com cargas de 10 A, dispara antes, se faltar uma fase.

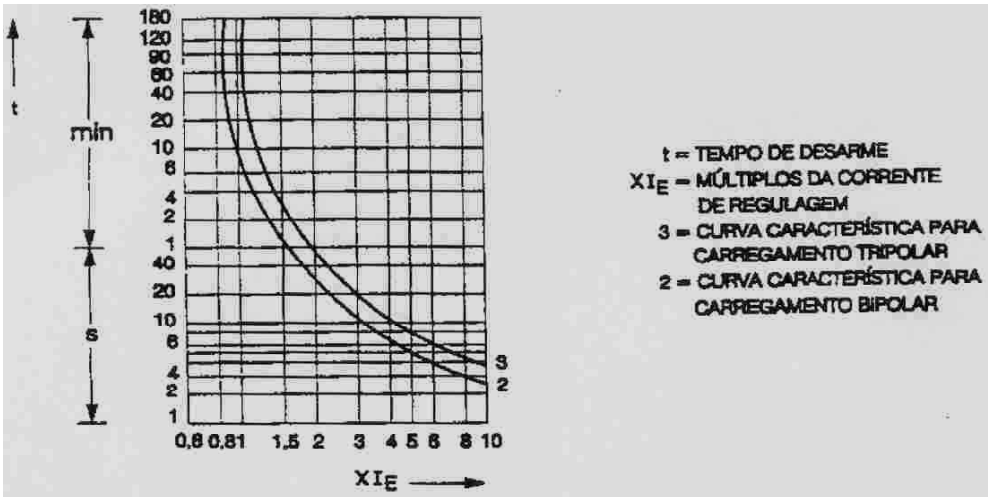


Figura 2.28 – Curva característica da relação tempo/corrente de desarme

No eixo horizontal (abcissas), encontram-se os valores múltiplos da corrente de regulagem (XIe) e no eixo vertical (ordenadas), o tempo de desarme (t).

A curva 3 representa o comportamento dos relés quando submetidos a sobrecarga tripolar e a curva 2 para sobrecarga bipolar.

Os valores de desligamento são válidos para sobrecarga a partir da temperatura ambiente, ou seja, sem aquecimento prévio (estado frio).

Para relés que operam em temperatura normal de trabalho e sob corrente nominal (relés pré-aquecidos), deve-se considerar os tempos de atuação em torno de 25 a 30% dos valores das curvas.

Isso acontece porque os bimetálicos já terão sofrido aproximadamente 70% do deslocamento necessário para o desarme, quando pré-aquecidos pela passagem da corrente nominal.

2.3 SINALIZAÇÃO

Para que um operador saiba o que está acontecendo com o equipamento que ele está operando, é necessário que possa visualizar, rápida e facilmente, mensagens que indiquem que a operação está se realizando dentro dos padrões esperados. Isso é feito por meio da sinalização.

Sinalização é a forma visual ou sonora de chamar a atenção do operador para uma situação determinada em um circuito, máquina ou conjunto de máquinas.

Ela é realizada por meio de buzinas e campainhas ou por sinalizadores luminosos com cores determinadas por normas.

Sinalização Luminosa

A sinalização luminosa é a mais usada por ser de mais rápida visualização.

Figura 2.29 – Sinalização luminosa

A tabela a seguir mostra o significado das cores de sinalização de acordo com as normas VDE.

Cor	Condição de Operação	Exemplo de Aplicação
Vermelho	Condição anormal	Indicação de que a máquina está paralisada por atuação de um dispositivo de proteção. Aviso para a paralisação da máquina devido a sobrecarga, por exemplo.
Amarelo	Atenção ou cuidado	O valor de uma grandeza (corrente, temperatura) aproxima-se de seu valor limite.
Verde	Máquina pronta para operar	Partida normal: todos os dispositivos auxiliares funcionam e estão prontos para operar. A pressão hidráulica ou a tensão estão nos valores especificados. O ciclo de operação está concluído e a máquina pronta para operar novamente.
Branco (incolor)	Circuitos sob tensão em operação normal	Chave principal na posição LIGA. Escolha da velocidade ou do sentido de rotação. Acionamentos individuais e dispositivos auxiliares estão operando. Máquina em movimento.
Azul	Todas as funções para as quais não se aplicam as cores acima.	

Tabela 2.2

A sinalização intermitente é usada para indicar situações que exigem atenção mais urgente.

A lente do sinalizador deve propiciar bom brilho e, quando a lâmpada está apagada, apresentar-se completamente opaca em relação à luz ambiente.

Sinalização Sonora

A sinalização sonora pode ser feita por meio de buzinas ou campainhas.

As buzinas são usadas para indicar o início de funcionamento de uma máquina ou para ficar à disposição do operador, quando seu uso for necessário. Elas são usadas, por exemplo, na sinalização de pontes rolantes.

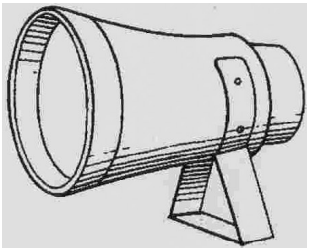


Figura 2.30 – Sinalização sonora

O som deve estar entre 1000 e 3000 Hz. Deve conter harmônicos que o tornarão distinto do ruído local.

As campainhas são usadas para indicar anomalias em máquinas. Assim, se um motor com sobrecarga não puder parar de imediato, o alarme chamará a atenção do operador para as providências necessárias.

Instalação de Sinalizadores

Na instalação de sinalizadores para indicar a abertura ou o fechamento de contator, é importante verificar se a tensão produzida por auto-indução não provocará a queima da lâmpada.

Nesse caso, a lâmpada deverá ser instalada através de um contato auxiliar, evitando-se a elevada tensão produzida na bobina do contator.

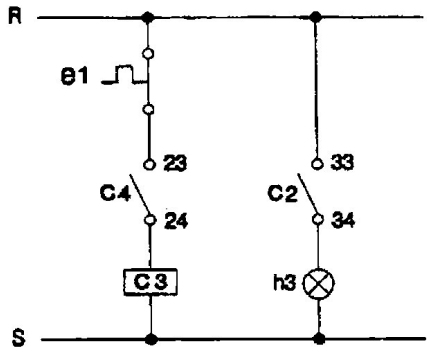


Figura 2.31 - Circuito de sinalização

3. SENSORES CAPACITIVOS E INDUTIVOS

Os sofisticados comandos de processos de automatização e robotização de máquinas industriais exigem confiabilidade nas informações do posicionamento mecânico da máquina que são enviadas ao painel de comando, seja ele eletrônico tradicional ou microprocessado.

Para fornecer esse tipo de informação, utilizam-se ou chaves fim de curso, ou sensores de proximidade, que atuam por aproximação e proporcionam qualidade, precisão e confiabilidade, pois não possuem contatos mecânicos e atuadores desgastáveis.

Veremos quais são os sensores de proximidade mais utilizados nos processos de automatização.

O sensor de proximidade é uma chave eletrônica semelhante a uma chave fim de curso mecânica. Além de ter comutação estática, esses sensores apresentam precisão milimétrica de acionamento e podem ser usados em máquinas operatrizes onde se exige precisão na repetição do ponto de acionamento e deslizamento.

Os sensores de proximidade podem ser indutivos, capacitivos e óticos.

3.1 SENSORES INDUTIVOS

Efetuam uma comutação eletrônica, quando um objeto metálico entra em um campo eletromagnético de alta freqüência, produzido por um oscilador eletrônico direcionado para fora do campo do sensor.

A bobina do oscilador situa-se na região denominada face sensível, onde estão montados os elementos sensíveis do sensor.

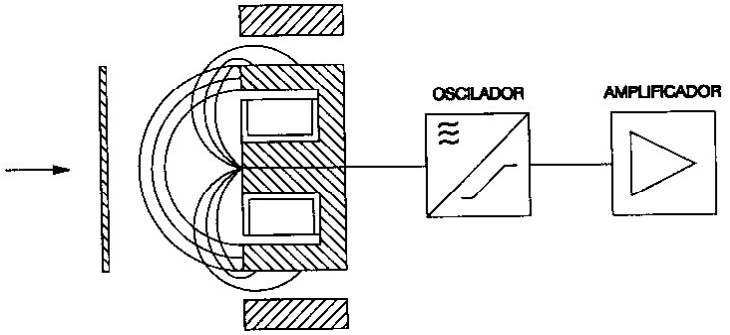


Figura 3.1 – Representação esquemática

Quando o corpo metálico está diante da face sensível, dentro da faixa denominada distância de comutação, este amortece a oscilação, provocando,

através de diversos estágios eletrônicos, a comutação, ou seja, a mudança do estágio lógico do sensor.
Observação: Distância de comutação (S) é a distância registrada quando ocorre uma comutação ao se aproximar o atuador padrão (elemento que determina a distância de comutação de um sensor) da face sensível do sensor.

3.2 SENSORES CAPACITIVOS

São sensores que efetuam a comutação eletrônica quando qualquer tipo de material corta a face sensível do sensor.

Dentre os materiais que alteram as condições físicas da face sensível de um sensor capacitivo, podem ser citados o vidro, a madeira, grãos, pós e líquidos.

Um objeto qualquer, ao ser aproximado da face sensível, altera a capacitância de um capacitor de placas que é colocado na face sensível do sensor, a alteração da capacitância é sentida por um circuito eletrônico que efetuará a comutação eletrônica, ou seja, mudará o estado lógico do sensor.

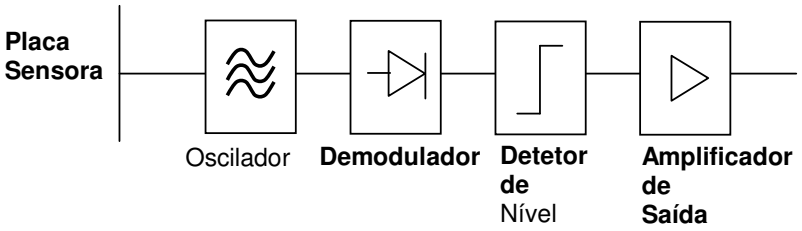


Figura 3.2 – Representação esquemática da construção básica desse tipo de sensor

Observação: Nos sensores capacitivos (e nos indutivos), o atuador padrão é constituído por uma placa de aço de 1mm de espessura, de formato quadrado, com um lado igual a três vezes a distância de comutação.

Distância de Comutação Efetiva

Pelo fato de os sensores capacitivos funcionarem pela alteração da capacitância de um capacitor, a distância efetiva de comutação depende do tipo de material bem como da massa a ser detectada.
Assim, é necessário considerar fatores de redução para diversos tipos de materiais, como, por exemplo:

- PVC.AS = 0,4 x SN;
- Madeira.AS = 0,5 x SN;
- Cobre.AS = 1,0 x SN.

Devido a tais características, os sensores capacitivos podem ser utilizados para detectar certos materiais através de outros, como, por exemplo, água dentro de um tubo de PVC.

3.3 CONFIGURAÇÃO ELÉTRICA DE ALIMENTAÇÃO E SAÍDAS DOS SENSORES

Os sensores podem ser alimentados em CA ou CC. Podem ser interligados em série ou em paralelo.

Os sensores com alimentação CC são classificados quanto ao tipo de saída, ou seja:

- chave PNP;
- chave NPN;
- chave NPN e PNP.

Na saída tipo **chave PNP**, existe um transistor PNP, e a carga é ligada ao pólo negativo.

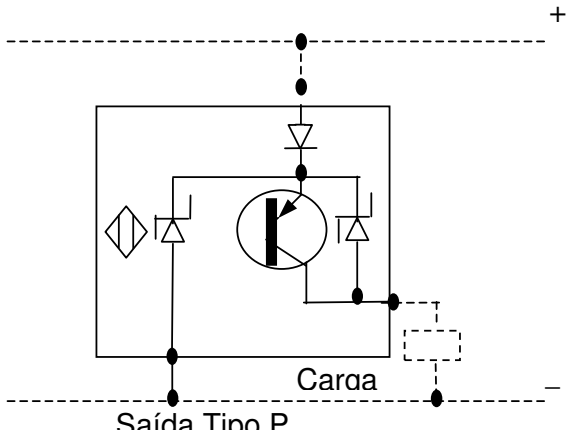


Figura 3.3 – Chave PNP

Na saída tipo **chave NPN**, existe um transistor NPN, e a carga é ligada ao pólo positivo.

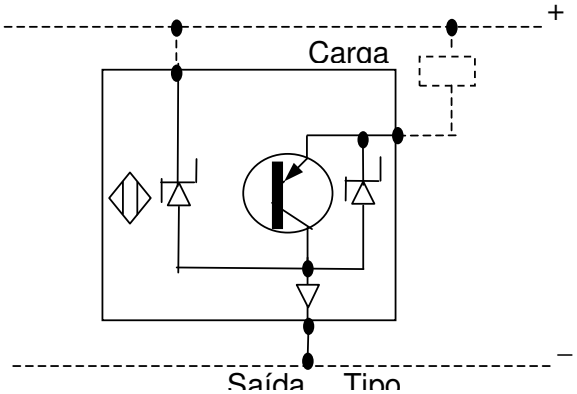


Figura 3.4 – Chave NPN

Na saída tipo chave NPN e PNP, existem dois transistores, um NPN e um PNP. Assim, uma saída é positiva e a outra negativa.
Os sensores de proximidade com alimentação CA, com saída a dois fios, devem ser ligados em série com a carga, como uma chave fim de curso mecânica, e sua alimentação se dá através da carga. Podem ser de dois tipos:

Chave NF: nesse tipo de chave, a saída permanece em alta impedância, e a carga fica ligada. Ao ser atuada, passa para alta impedância, e a carga se desliga.

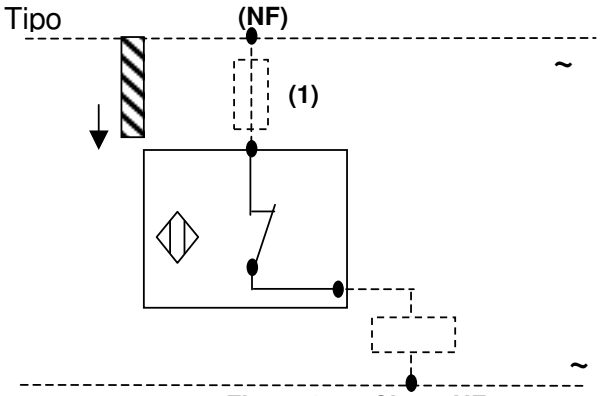


Figura 3.5 – Chave NF

Chave NA: nesse tipo de chave, a saída permanece em baixa impedância, a carga fica desligada. Quando é atuada, passa para baixa impedância e liga a carga.

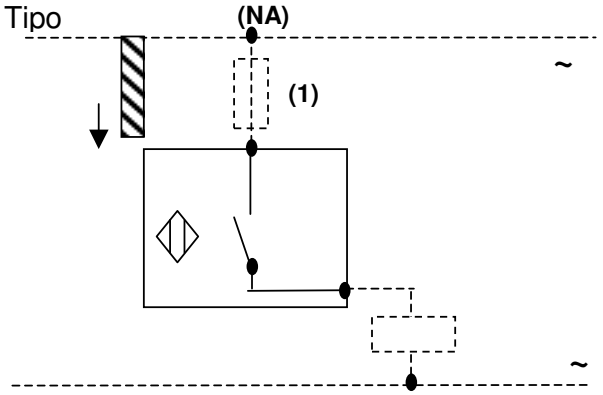


Figura 3.6 – Chave NA

Para a utilização dessas chaves, aconselha-se o emprego de fusível de ação rápida.

Observação: Uma pequena corrente flui, através da carga, para alimentar o sensor com alimentação CA quando está na condição aberto (tiristor

bloqueado). Esta corrente, porém , não é suficiente para energizar a carga. Na condição fechado (tiristor em condução) ocorre uma pequena queda de tensão no sensor. A diferença entre a alimentação e esta queda de tensão fica sobre a carga.

Os sensores com alimentação CA, com saída de três ou quatro fios, apresentam funcionamento e aplicações semelhantes ao modelo de dois fios. Porém, nesses tipos de sensores a alimentação é feita independentemente da carga.

Assim, quando a chave está aberta, a corrente pela carga é nula e, quando a chave está fechada, a tensão sobre a carga é praticamente a tensão de alimentação.

Abaixo temos três tipos de configuração dos sensores CA de três e quatro fios.

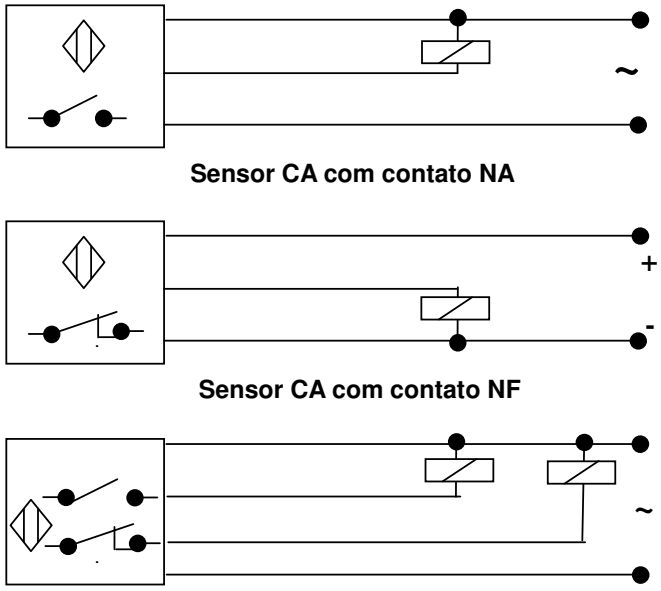


Figura 3.7 - Sensor CA com saídas complementares (contatos NA e NF)

3.4 MÉTODO DE LIGAÇÃO DOS SENSORES

A ligação tanto dos sensores CC como dos sensores CA pode ser de dois tipos:

Ligação Série dos Sensores CC: quando o sensor CC é acionado, ocorre uma pequena queda de tensão. Assim, a tensão na carga será reduzida de um valor dependente do número de sensores ligados em série. Em seguida encontra-se a ligação em série de sensores NPN e PNP.

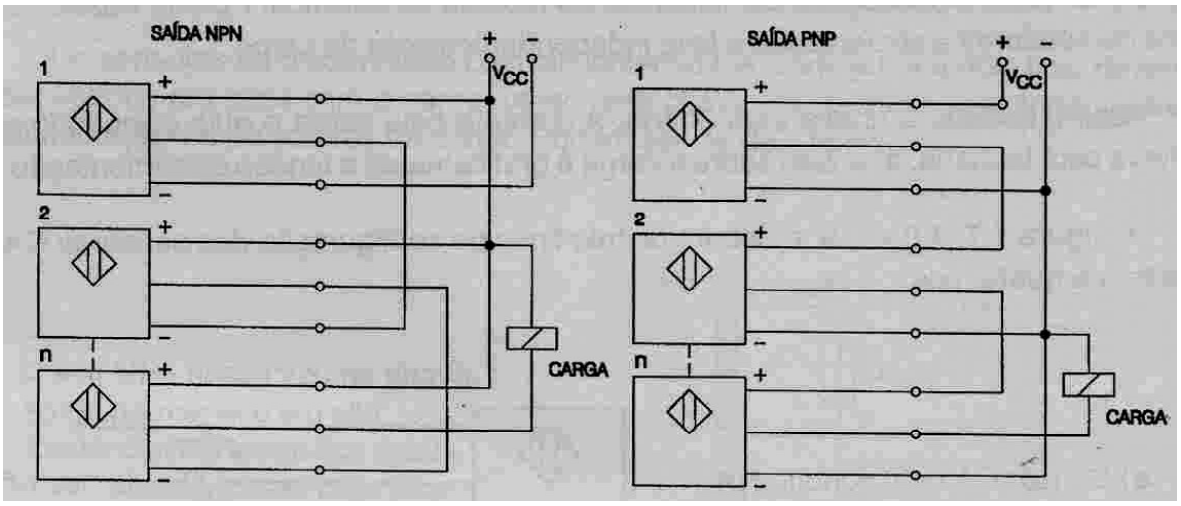


Figura 3.8

Observação: O primeiro sensor deve ter capacidade de corrente para alimentar os demais sensores bem como a carga.

Ligação Paralela dos Sensores CC: os sensores CC recebem alimentação independente, por isso não oferecem restrições à ligação em paralelo. O único cuidado a ser tomado é a colocação de um diodo em cada saída para evitar que os sensores sejam realimentados pela saída. Temos abaixo a ligação em paralelo dos sensores NPN e PNP.

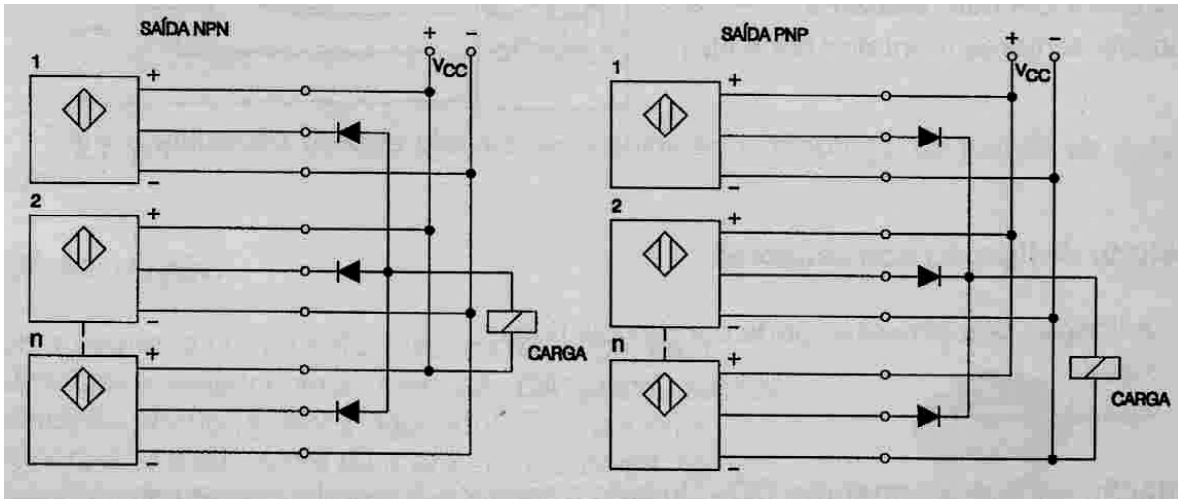


Figura 3.10

Ligação Série dos Sensores CA: assim como nos sensores CC, também ocorre uma queda de tensão nos sensores CA. Portanto, só poderão ser ligados em

série dois ou três desse tipo de sensores. Observe a representação esquemática desse tipo de ligação para sensores CA de dois, três ou quatro fios.

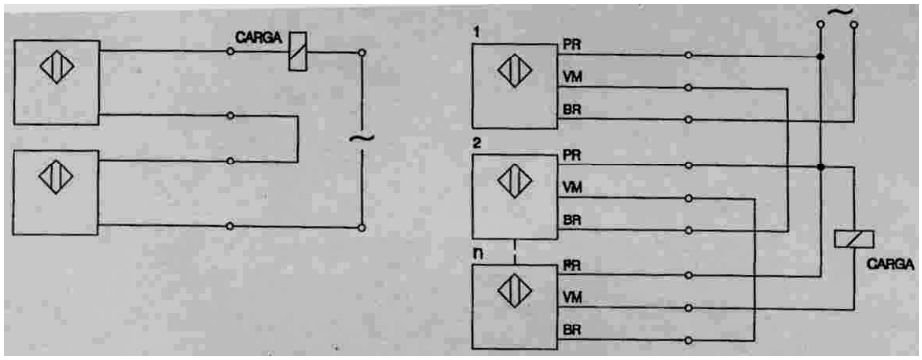


Figura 3.11

Observação: Não é aconselhável a ligação de sensores CA de dois fios em paralelo. Quando isso se tornar necessário, deve-se utilizar os sensores de três ou quatro fios.

Os sofisticados comandos de processos de automatização e robotização de máquinas industriais exigem confiabilidade nas informações do posicionamento mecânico da máquina que são enviadas ao painel de comando, seja ele eletrônico tradicional ou microprocessado.

Para fornecer esse tipo de informação, utilizam-se ou chaves fim de curso, ou sensores de proximidade, que atuam por aproximação e proporcionam qualidade, precisão e confiabilidade, pois não possuem contatos mecânicos e atuadores desgastáveis.

Veremos quais são os sensores de proximidade mais utilizados nos processos de automatização.

O sensor de proximidade é uma chave eletrônica semelhante a uma chave fim de curso mecânica. Além de ter comutação estática, esses sensores apresentam precisão milimétrica de acionamento e podem ser usados em máquinas operatrizes onde se exige precisão na repetição do ponto de acionamento e deslizamento.

Os sensores de proximidade podem ser indutivos, capacitivos e óticos.

4. INTRODUÇÃO A MÁQUINAS ELÉTRICAS

Os seguintes fenômenos são facilmente observáveis:

a) dois ímãs permanentes tendem a se alinhar com os pólos opostos se defrontando;
b) dois reatores de formas convenientes (eletroímãs), quando excitados, tendem a alinhar-se de modo que os eixos longitudinais tomem a direção do campo, com os pólos opostos se defrontando.

Nestes dois sistemas, notaremos que toda vez que houver um desalinhamento dos campos, desenvolver-se-á uma força que tenderá a restabelecer o alinhamento.

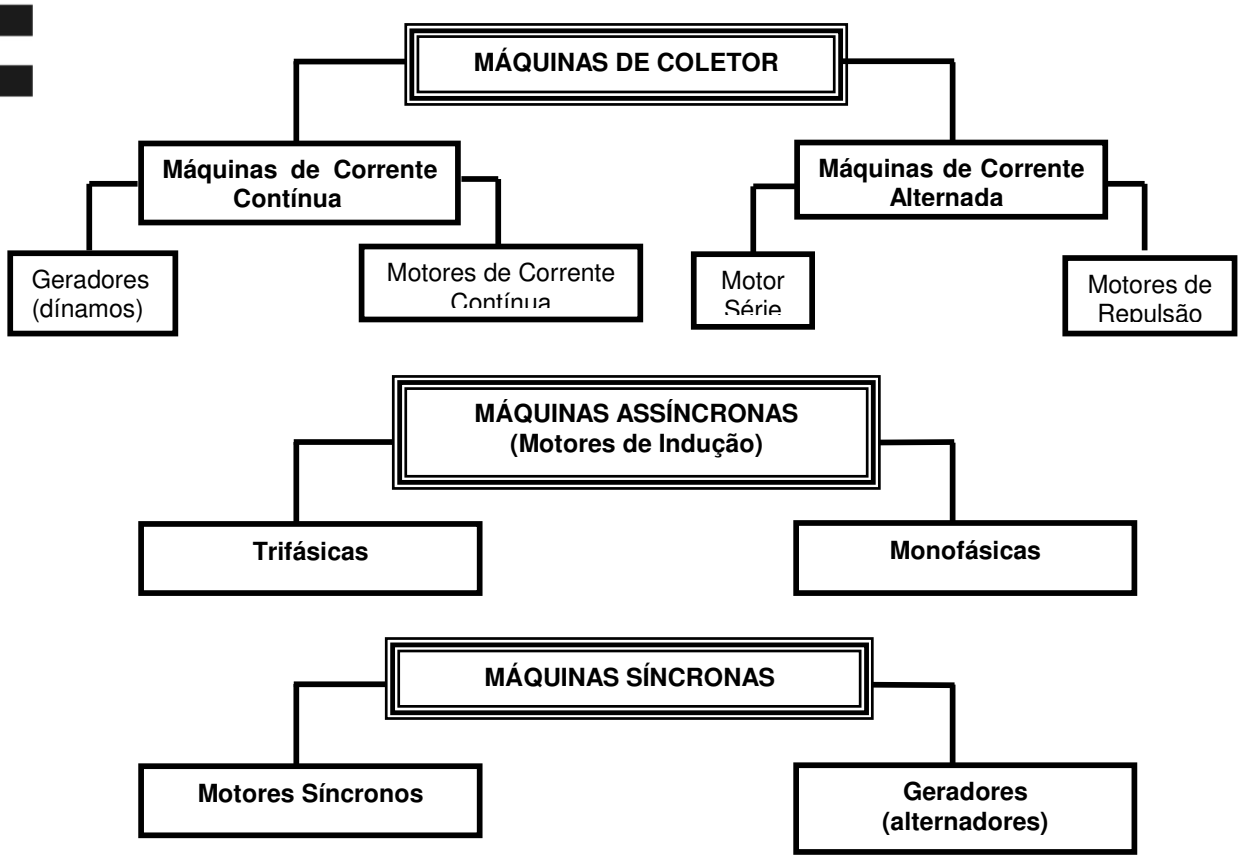
Lembremos que o eletroímã produz os mesmos efeitos magnéticos de um ímã permanente, apresentando igualmente um pólo norte e um pólo sul.

Quando se processam tais realinhamentos de elementos excitados, o sistema produz um trabalho mecânico e a energia necessária é fornecida pela fonte elétrica que mantém o campo magnético. Se impusermos o desalinhamento aos elementos excitados, então estaremos fornecendo trabalho mecânico ao sistema, que devolve a energia correspondente em forma de energia elétrica. Em ambos os casos, o dispositivo se torna um transdutor, isto é, converte uma forma de energia em outra. Construindo-se convenientemente este transdutor, temos então as máquinas elétricas.

Máquinas elétricas são equipamentos rotativos que convertem a energia em mecânica (motores) ou a energia mecânica em energia elétrica (geradores).

4.1 CLASSIFICAÇÃO

Tomando como critério de classificação o princípio de funcionamento, as máquinas elétricas se classificam em máquinas de coletor, máquinas assíncronas (motores de indução) e máquinas síncronas. Observe o esquema seguinte:



No entanto, veremos apenas máquinas de corrente contínua, motor de indução trifásico e máquinas síncronas trifásicas.

Nas máquinas elétricas podemos distinguir duas partes principais: o estator (parte fixa) e o rotor (a parte girante).

Nos motores de indução e síncrono trifásicos, o estator tem a mesma forma construtiva. Os enrolamentos do estator são alojados em sulcos existentes na periferia do núcleo de ferro laminado e é alimentado por uma fonte trifásica, que forma o campo girante. Entretanto, os rotores são bem diferentes. No motor de indução, temos dois tipos de rotor:

- rotor em curto-circuito ou gaiola de esquilo (ou simplesmente gaiola);
- rotor bobinado.

Em ambos, os núcleos magnéticos são laminados. No motor síncrono, o rotor é constituído por bobinas enrolados convenientemente nos núcleos magnéticos (denominados de pólos) e alimentados por uma fonte de corrente contínua.

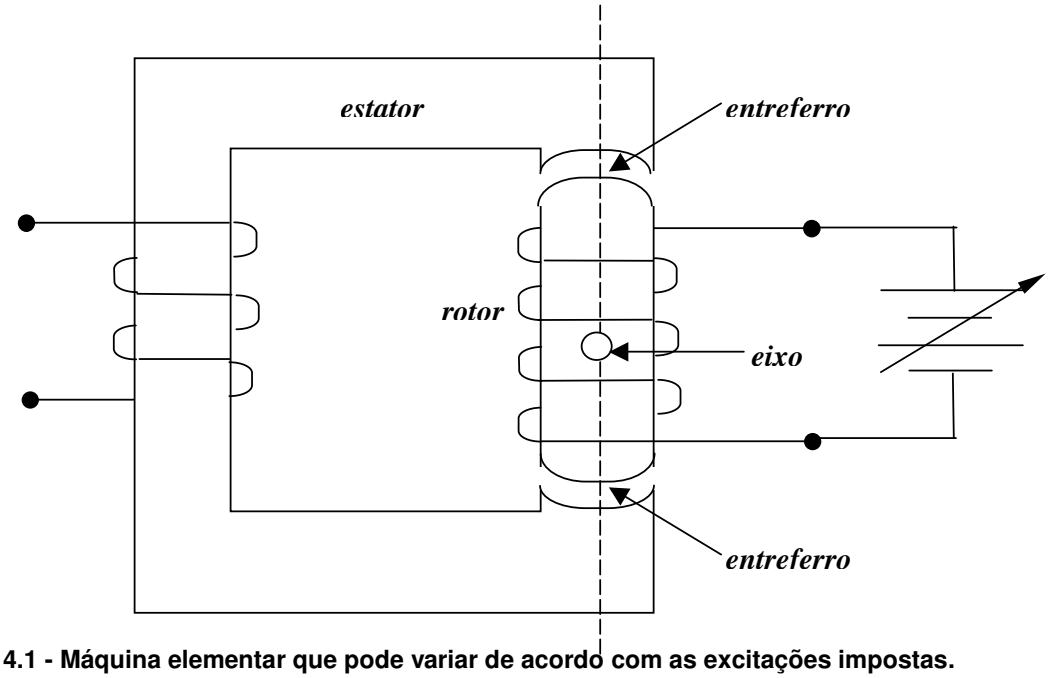


Figura 4.1 - Máquina elementar que pode variar de acordo com as excitações impostas.

4.2 GERADOR DE CORRENTE CONTÍNUA

No gerador de corrente contínua, o enrolamento do estator (também conhecido como enrolamento de campo) é excitado por uma fonte de corrente contínua e no eixo do rotor impõe-se um torque mecânico. Quando o enrolamento do rotor (o rotor é conhecido também como armadura ou induzido) corta as linhas de força f.e.m. é induzida nele, obedecendo a lei de Faraday. A f.e.m. induzida é alternada (senoidal), mas por meio de uma retificação mecânica (comutador) é transformada em corrente contínua.

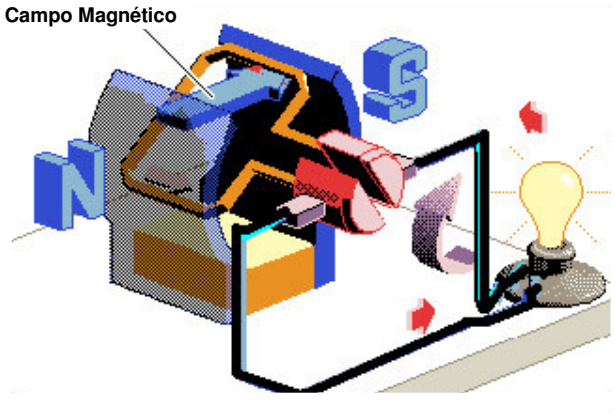


Figura 4.2 - Gerador elementar de CC

Considerando-se que a máquina de corrente contínua é um dispositivo reversível, excitando tanto o enrolamento do estator como do rotor por uma fonte de corrente contínua, tem-se o motor de corrente contínua.

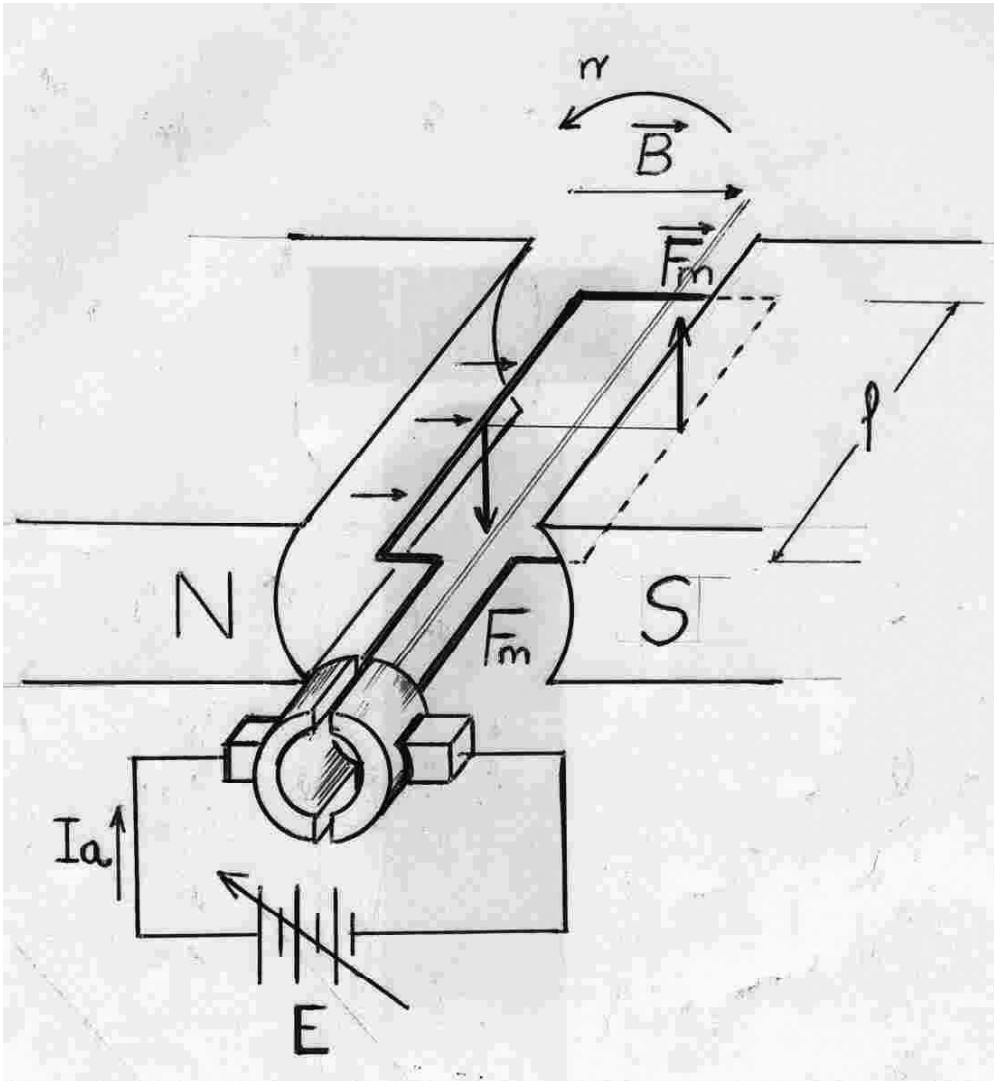


Figura 4.3 – Motor de corrente contínua

Excitação das Máquinas de Corrente Contínua

As máquinas de corrente contínua são classificadas de acordo com o tipo de excitação do enrolamento do campo, que são as seguintes:

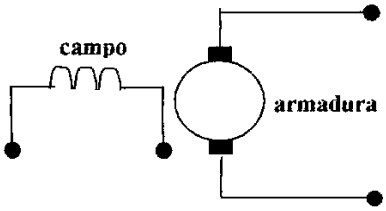


Figura 4.4 – Excitação separada

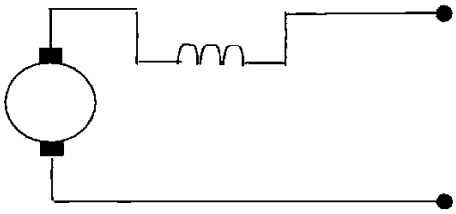


Figura 4.5 – Excitação série

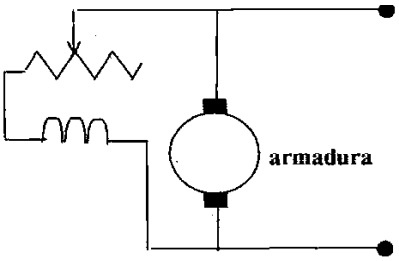


Figura 4.6 – Excitação shunt

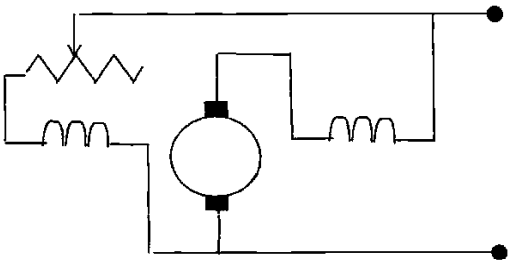


Figura 4.7 – Excitação mista

O motor com excitação série que funciona tanto com corrente contínua como com corrente alternada é chamado **motor universal**. Este tipo de motor é utilizado com quase todos os aparelhos eletrodomésticos.

4.3 MOTOR DE INDUÇÃO

Na máquina elementar, se o enrolamento do estator for alimentado com corrente alternada, teremos então um campo pulsante, isto é, um campo que muda de polaridade mantendo fixo o eixo de simetria. Se imerso neste campo tivermos o rotor com seu enrolamento em curto-circuito, teremos o princípio de um motor de indução monofásico.

Os motores elétricos são os mais usados de todos os tipos de motores, pois combinam as vantagens da utilização da energia elétrica com uma construção relativamente simples, custo reduzido e grande adaptabilidade às mais diversas cargas.

A potência de saída é a potência mecânica no eixo do motor, que é a **potência nominal**, geralmente expressa em cv ou kW (eventualmente em HP); a potência de entrada é a potência nominal dividida pelo rendimento. A potência de entrada (elétrica) P_E, pode ser dada (em kW) pelas seguintes expressões, em função da potência nominal P_N (em cv, kW ou HP) e do rendimento η:

Expressão 1 → $\frac{\mathbf{P_E\ (kW)}}{\eta} = P_N\ (kW)$

Expressão 2 → $\frac{\mathbf{P_E\ (kW)}}{\eta} = P_N\ (cv)0{,}736$

Expressão 3 → $\frac{\mathbf{P_E\ (kW)}}{\eta} = P_N\ (HP)0{,}746$

A **corrente nominal** ou corrente de plena carga de um motor IN, é a corrente consumida pelo motor quando ele fornece a potência nominal a uma carga.

Para os motores de corrente alternada, as correntes podem ser determinadas pelas seguintes expressões:

Expressão 4 → $\mathbf{I_N} = \frac{P_N}{V_N\ cos\ \varphi\eta} = \frac{P_E}{V_N\ cos\ \varphi}$, para motores **monofásicos**

e

Expressão 5 → $\mathbf{I_N} = \frac{P_N}{\sqrt{3}\ V_N\ cos\ \varphi\eta} = \frac{P_E}{\sqrt{3}\ V_N\ cos\ \varphi}$, para motores **trifásicos**.

$\mathbf{V_N}$ é a tensão nominal (de linha) e ***cos* φ** o fator de potência nominal.

A corrente consumida por um motor, varia bastante com as circunstâncias. Na maioria dos motores, a corrente é muito alta na partida, caindo gradativamente (em alguns segundos) com o aumento da velocidade. Atingidas as condições de regime, isto é, motor com velocidade nominal, fornecendo a potência nominal a uma carga, ela atinge o seu valor nominal – aumentando, porém, se ocorrer alguma sobrecarga.

Em princípio, nenhum motor deve ser instalado para fornecer uma potência superior à nominal. No entanto, sob determinadas condições, isso pode vir a ocorrer, acarretando um aumento de corrente e de temperatura, que dependendo da duração e da intensidade da sobrecarga, pode levar à redução da vida útil dos kVA comsumidos por HP com **rotor bloqueado**; evidentemente, o motor nunca funciona nessas condições (rotor bloqueado), porém, no instante da partida ele não está girando e, portanto, essa situação é válida até que ele comece a girar.

A tabela abaixo fornece a relação kVA/HP para as diversas letras-código, com base no seguinte exemplo:

- um motor de indução trifásico possui 3 HP, 220 V, fator de potência 0,83, rendimento 78% e letra-código J. Pelas expressões 3 e 5, determinamos corrente nominal de 9A. Da tabela determina-se a relação kVA/HP, que fica na faixa de 7,10 a 7,99. Tomando-se o valor médio, 7,55, determinamos a corrente de partida de 59,6 A. Assim, a relação de correntes 6,62.

Faixa de Potência	**Percentual**
até 1cv	32 a 36%
de 1 a 10 cv	54 a 59%
de 10 a 40 cv	6 a 8%
de 40 a 100 cv	0,5 a 1%
de 100 a 300 cv	0,4 a 0,5%
acima de 300cv	menos de 0,4%

Tabela 4.1 - Utilização de motores de indução por faixa de potência.

Princípio de Funcionamento

Basicamente os motores de indução são compostos de uma parte fixa (estator) e uma parte rotativa (rotor).

Campo Pulsante

Consideremos um enrolamento distribuído no estator de um motor de indução monofásico. A corrente monofásica que percorre o enrolamento gera um campo magnético que acompanha a variação senoidal da corrente, formando sempre um par de pólos N-S, cuja posição depende o sentido da corrente. Diz-se que o campo é pulsante, isto é, o campo muda de polaridade, mantendo fixo o eixo de simetria.

Campo Girante

Se em vez de um motor monofásico, considerarmos um trifásico, as correntes trifásicas que percorrem os enrolamentos (fases) do estator vão gerar, em cada fase, campos pulsantes, defasados de um ângulo igual ao da defasagem entre as tensões aplicadas, cujos eixos de simetria são fixos no espaço, mas cuja resultante é um campo que gira num determinado sentido, denominado campo girante.

Consideremos agora o estator de um motor de indução trifásico. As três fases (1), (2) e (3), alojadas nas ranhuras do estator, são deslocadas uma da outra de 120º, e ligadas, (em estrela ou em triângulo), a uma fonte de alimentação trifásica. Os enrolamentos iniciam em P_1, P_2 e P_3 e terminam em F_1, F_2 e F3 respectivamente. As tensões aplicadas se acham defasadas de 120º graus elétricos, e nas três fases resultam correntes iguais, defasadas entre si de 120º graus elétricos, as

quais geram campos magnéticos pulsantes, que se combinam dando um campo resultante de valor constante. Este campo gira com uma velocidade constante que depende da freqüência da fonte e o número de pólos para os quais o estator foi enrolado. A velocidade de rotação do campo é a velocidade síncrona, cuja expressão é

$$n = \frac{60\ f}{p}$$

sendo ***n*** **–** velocidade em rpm;
f **–** freqüência da rede e
p **–** número de pares de pólos.

O sentido de rotação do campo, que determina o sentido de rotação do motor, depende da seqüência das tensões e das ligações das três fases, que na prática poderá ser invertido, invertendo as ligações de duas fases quaisquer do estator com a linha de alimentação.

Note-se que as três fases do estator podem atuar como o primário de um transformador trifásico quando se introduz um segundo grupo de enrolamentos (rotor), acoplados indutivamente com os enrolamentos do estator.

O motor de indução trifásico é o motor de corrente alternada mais comum e de mais simples e robusta construção. Seu nome deriva do fato de que a corrente no rotor não provém diretamente de uma fonte de alimentação, mas é induzida nele pelo movimento relativo dos condutores do rotor e do campo girante produzido pelas correntes no estator.

O motor de indução consiste de duas partes principais.

A primeira é o **estator**, uma parte fixa que consiste de enrolamentos alojados nas ranhuras existentes na periferia interna de um núcleo de ferro laminado (carcaça). Os enrolamentos do estator são alimentados com tensão trifásica, que produz um campo magnético que gira com velocidade síncrona.

A segunda é o **rotor** que, independente do tipo, tem o núcleo magnético de ferro laminado. O rotor pode ser construído em dois tipos:

a) rotor bobinado

Consta de um núcleo em tambor, provido de ranhuras onde são alojados enrolamentos semelhantes ao do estator, e produzindo o mesmo número de pólos. No motor trifásico, estes enrolamentos são geralmente ligados em estrela e as três extremidades livres dos enrolamentos são ligadas a três anéis coletores montados no eixo, permitindo a inserção de resistor variável em série em cada fase.

b) rotor em curto-circuito, ou gaiola de esquilo (ou simplesmente **gaiola**)

Consta de um núcleo em tambor, providos de ranhuras, nas quais são alojados fios ou barras de cobre curto-circuitados nos extremos por anéis.

O princípio de funcionamento do motor de indução é o seguinte: o rotor se acha imerso no campo girante produzido pelas correntes no estator. Nos condutores do rotor, cortados pelo fluxo do campo girante, são induzidas f.e.m. que dão origem a correntes de valor igual ao quociente da f.e.m. pela respectiva impedância. Estas correntes reagem sobre o campo girante produzindo um conjugado motor que faz o rotor girar no mesmo sentido do campo.

A velocidade do rotor nunca pode atingir a velocidade do campo girante, isto é, a velocidade síncrona. Se esta velocidade fosse atingida, os condutores do rotor não seriam cortados pelas linhas de força do campo girante, não se produzindo, portanto, correntes induzidas, sendo então nulo o conjugado do motor. Por isso, estes motores são também chamados assíncronos.

Quando o motor funciona sem carga, o rotor gira com velocidade quase igual à síncrona; com carga o rotor se atrasa mais em relação ao campo girante, e correntes maiores são induzidas para desenvolver o conjugado necessário.
Chama-se escorregamento a seguinte relação:

$$s = \frac{n - n_r}{n}$$

sendo ***s –*** escorregamento;
n – velocidade síncrona e
n_r **–** velocidade do rotor.

O escorregamento é geralmente expresso em porcentagem, variando em plena carga, conforme o tamanho e o tipo do motor, de 1 a 5%.

A freqüência da corrente no rotor, é o produto do escorregamento pela freqüência da corrente no estator, isto é, $f_r = s\,f$.

Conjugado

O enrolamento do rotor do motor trifásico é distribuído por todo seu perímetro. Cada condutor atravessado por corrente, deste enrolamento, está sujeito a uma força de repulsão do campo magnético. Todas as forças são aplicadas perimetralmente e em direção tangencial. Produzirão, portanto, um momento tangencial. O momento devido aos pares de forças com linha de ação paralelas, de mesma intensidade e sentido opostos é chamado de binário ou conjugado (de torção).

As correntes no rotor defasam de um ângulo θ_r, em atraso, sobre as f.e.m. induzidas no rotor E_r, em virtude da impedância dos enrolamentos ou barras do rotor.

O conjugado desenvolvido no rotor é proporcional ao produto do fluxo, pela corrente e pelo cosseno do ângulo de defasagem. Temos o seguinte:
$\mathbf{C} = K\,\Phi\,I_r \cos\theta_r$

sendo ***K*** **-** constante e

Φ **-** fluxo no entreferro.

No instante da partida forma-se no rotor, em virtude do escorregamento 100%, a f.e.m. mais elevada possível, e com isso, uma corrente I_r muito elevada e um campo intenso. O motor de indução nesta situação, equivale a um transformador com secundário curto-circuitado; a corrente de partida é, por isso, igual a corrente de curto-circuito e resulta assim de 3 a 8 vezes a corrente nominal. Simultaneamente porém, o enrolamento do rotor possui alta reatância no momento da partida, pois, a freqüência da f.e.m. induzida no rotor é igual à da rede. Como conseqüência, no momento da partida, a corrente do rotor está atrasada da f.e.m. induzida de quase 90º. Nestas condições, o motor de indução tipo gaiola apresenta baixo torque de partida.

4.4 IDENTIFICAÇÃO DOS MOTORES

Os motores elétricos possuem uma placa identificadora, colocada pelo fabricante, a qual pelas normas, deve ser fixada em local bem visível.

Para instalar adequadamente um motor, é imprescindível que o instalador saiba interpretar os dados de placa. Estes dados são:

- Nome e dados do fabricante
- Modelo (MOD)
- Potência (cv, HP, kW)
- Número de fases (por exemplo, TRIFÀSICO ou 3FAS)
- Tensões nominais (V)
- Freqüência nominal (Hz)
- Categoria (CAT)
- Correntes nominais (A)
- Velocidade nominal (RPM)
- Fator de serviço (FS)
- Classe de isolamento (ISOL. CL.)
- Letra-código (COD)
- Regime (REG)
- Grau de proteção (PROTEÇÃO IP)
- Ligações

Categoria

Conforme as suas características de conjugado em relação à velocidade e corrente de partida, os motores são classificados em categorias, cada uma adequada a um tipo de carga. Estas categorias são definidas em norma, e são as seguintes:

a) categoria A

Conjugado de partida normal; corrente de partida alta; baixo escorregamento (cerca de 5%). Motores usados onde não há problemas de partidas nem limitações de corrente.

b) categoria B

Conjugado de partida normal; corrente de partida normal; baixo escorregamento. Constituem a maioria dos motores encontrados no mercado e prestam-se ao acionamento de cargas normais, como bombas, máquinas operatrizes, etc.

c) categoria C

Conjugado de partida alto; corrente de partida normal; baixo escorregamento. Usados para cargas que exigem maior conjugado na partida, como peneiras, transportadores carregados, cargas de alta inércia, etc.

d) categoria D

Conjugado de partida alto; corrente de partida normal; alto escorregamento (mais de 5%). Usados em prensas excêntricas e máquinas semelhantes, onde a carga apresenta picos periódicos. Usados também em elevadores e cargas que necessitam de conjugados muito altos e corrente de partida limitada.

e) categoria F

Conjugado de partida baixo; corrente de partida baixo; baixo escorregamento. Pouco usados, destinam-se a cargas com partidas freqüentes, porém sem necessidade de altos conjugados e onde é importante limitar a corrente de partida.

Fator de Serviço

O fator de serviço, é um fator que aplicado à potência nominal, indica a carga permissível que pode ser aplicada ao motor. Esse fator refere-se a uma capacidade de sobrecarga contínua, ou seja, uma reserva de potência que dá ao motor uma capacidade de suportar melhor o funcionamento em condições desfavoráveis.

Classe de Isolamento

A classe de isolamento, indicada por uma letra normalizada, identifica os tipos de materiais isolantes empregados no isolamento do motor. As classes de isolamento são definidas pelo respectivo limite de temperatura. De acordo com a ABNT existem as seguintes:

- **Classe A –** 105º C
- **Classe E –** 120º C
- **Classe B –** 130º C
- **Classe F –** 155º C
- **Classe H –** 180º C

Letra-Código

A letra-código (código de partida) indica a corrente de rotor bloqueado, sob tensão nominal.

Regime

O regime é o grau de regularidade da carga a que o motor é submetido. Os motores normais são projetados para regime contínuo, isto é, um funcionamento com carga constante, por tempo indefinido, desenvolvendo potência nominal. São previstos, por norma, vários tipos de regimes de funcionamento.

Grau de Proteção
O grau de proteção é um código padronizado, formado pelas letras IP seguidas de um número de dois algarismos, que define o tipo de proteção do motor contra a entrada de água ou de objetos estranhos.

Ligações
A placa de identificação do motor contém um diagrama de ligações, a fim de permitir a ligação correta do motor ao sistema.

4.5 PARTIDA DE MOTORES

Sempre que possível, a partida de um motor trifásico tipo gaiola deve ser direta (a plena tensão), por meio de um dispositivo de controle, geralmente um contator, entretanto, este método, como já vimos, exige da rede elétrica uma corrente muito elevada.

Caso a partida direta não seja possível, quer pela exigência da concessionária (que no caso da instalação de baixa tensão exige, geralmente, que motores acima de 5 cv a partida seja por tensão reduzida), quer pela imposição da própria instalação, utilizam-se sistemas de partida indireta.

Partida Com Chave Estrela-Triângulo
A utilização deste método, que pode ser manual ou automática, pressupõe que o motor tenha a possibilidade de ligação em dupla tensão, por exemplo, 127/220 V, 380/660 V ou 440/760 V; os motores deverão ter no mínimo seis bornes de ligação.

Partida Com Chave Compensadora

Neste método, a tensão é reduzida através de um autotransformador, que possui normalmente derivações de 50, 65 e 80% da tensão nominal.

4.6 POTÊNCIA DE UM MOTOR

A escolha de um motor para uma determinada aplicação é uma tarefa que exige o conhecimento de inúmeros dados relativos à operação que se tem em vista. Assim, por exemplo, podemos necessitar de uma operação contínua com carga variável (casos de bomba d'água) ou operação contínua com carga variável (casos de compressores de ar); também podemos ter operações descontínuas, com variação e inversão de rotação; em suma, é um problema que deve ser estudado em detalhe pelo instalador.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL – SENAI – Eletricidade – Instalação Predial - 1981

2. SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL – SENAI – Eletricista de Manutenção – Comandos Elétricos – BH - 1998

3. SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL – SENAI – Eletricista de Manutenção – Introdução aos Comandos Elétricos – BH – 1998

4. SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL – SENAI – Eletricista de Manutenção – Sensores – BH - 1998

5. CATÁLOGO GERAL – Motores Elétricos - WEG